



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica**

**Escuela Profesional de Ingeniería Geológica**

**Análisis del método de muestreo de detritos de los  
taladros para voladura y control de envío de mineral en  
la Mina Justa, San Juan de Marcona - Nasca - Ica**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo**

**AUTOR**

**Carlos Michell LAZO SEGURA**

**ASESOR**

**Dr. Tomás Ezequiel GALLARDAY BOCANEGRA**

**Lima, Perú**

**2019**



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Lazo, C. (2019). *Análisis del método de muestreo de detritos de los taladros para voladura y control de envío de mineral en la Mina Justa, San Juan de Marcona - Nasca - Ica*. Tesis para optar el título de Ingeniero Geólogo. Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

---

## Hoja de metadatos complementarios

- **Código ORCID del autor:** --
- **Código ORCID del asesor:** 0000-0003-1055-4237
- **DNI o pasaporte del autor:** 43540234
- **Grupo de investigación:** --
- **Institución que financia la investigación:** --
- **Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación:**  
Distrito de San Juan Marcona, provincia de Nasca, departamento de Ica  
Como referencia la coordenada central UTM - WGS84: 493291.71 E y  
8323723.61 N.
- **Año o rango de años que la investigación abarcó:**  
Diciembre 2018 - diciembre 2019





**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**  
Universidad del Perú. Decana de América  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Geológica**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO**  
**PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO**

En el Salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, el día viernes 20 de diciembre del año 2019, siendo las 18:00 horas, en presencia de los señores docentes designados como miembros del Jurado Calificador:

Dr. CIRO SERGIO BEDIA GUILLEN

(Presidente de Jurado)

Mg. JOSÉ ANDRÉS YPARRAGUIRRE CALDERÓN

(Miembro de Jurado)

Ing. PEDRO ANTONIO OLIVARES BALLENA

(Miembro de Jurado)

Reunidos para el acto académico público de colación de la Tesis del Bach. **CARLOS MICHELL LAZO SEGURA**, quien sustentará la Tesis titulada: **"ANÁLISIS DEL MÉTODO DE MUESTREO DE DETRITOS DE LOS TALADROS PARA VOLADURA Y CONTROL DE ENVÍO DE MINERAL EN LA MINA JUSTA, SAN JUAN DE MARCONA- NASCA-ICA"**, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

Los miembros del Jurado, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas:

A SATISFACCIÓN DEL JURADO

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

APROBADO POR UNANIMIDAD CON NOTA (17) Diecisiete.

Habiendo sido aprobada la Sustentación de Tesis por el Jurado Calificador, el Presidente recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga se le otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO** al Bach. **CARLOS MICHELL LAZO SEGURA**.

Siendo las 19:00 horas se dio por concluido el acto académico, expidiéndose dos (02) Actas Originales de la Sustentación de la Tesis.

Ciudad Universitaria, 20 de diciembre del 2019

  
**DR. CIRO SERGIO BEDIA GUILLEN**  
PRESIDENTE DE JURADO

  
**MG. JOSÉ ANDRÉS YPARRAGUIRRE CALDERÓN**  
MIEMBRO DE JURADO

  
**ING. PEDRO ANTONIO OLIVARES BALLENA**  
MIEMBRO DE JURADO

**DEDICATORIA**

A mi madre, Isabel, por sembrar en mi humildad, sencillez y orgullo.

A mi padre, Michell, por jamás dejar de apoyarme y guiarme a tener dignidad.

A mis hermanas, sobrinos, familiares y amigos, por creer siempre en mí.

A mi princesita, Luz María, por su amor y apoyo, motivo de mí felicidad.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ing. Geólogo Edson Bortoletto Machado, por haberme considerado debido a mi experiencia para establecer los procedimientos del control de mineral, fue de ello que nació mi inquietud para realizar el presente análisis, por su importancia, y por pensar que en Geología aplicada a la minería sí se puede realizar investigación, sostenibilidad y mejora de los procesos de control de envío de mineral, así mismo, a Marcobre brindarme los datos para el análisis.

Al Dr. Tomás Gallarday Bocanegra, quien me transmitió confianza para iniciar el presente análisis, orientó, corrigió y revisó el avance de este como asesor.

A los profesores e ingenieros y a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por su formación durante la etapa del pregrado.

A mis actuales compañeros de trabajo y amigos de Marcobre, por el apoyo al ser parte del análisis y su orientación en el mismo.

A mis ex compañeros de trabajo y amigos de la Compañía Minera Antapaccay, por darme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente.

A mis padres, Isabel y Michell, por su apoyo constante. A mis hermanas: Olga, por mostrarme que nuestra mayor riqueza es la educación, Niskar, por su apoyo en casa, Arazeli, por llenarme de felicidad gracias a sus logros y a mis cuatro sobrinos por sacar siempre lo mejor de mí para ellos. A mi princesita, Luz María, por permitirme ser feliz haciéndola feliz, haber tomado mi mano para ser compañeros desde la etapa universitaria y compartir objetivos comunes, paso a paso y con dignidad, como el presente análisis. A mi tía abuela, Haydee Cabezas, por ser mi mayor ejemplo de dignidad, profesionalismo y fortaleza. A mis tíos, primos y familiares, por muchas veces acogerme como su hijo o hermano.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE .....	iii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
INDICE DE TABLAS .....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
 CAPÍTULO I.....	 1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	2
1.2.1. GENERAL.....	2
1.2.2. ESPECÍFICOS .....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO .....	2
1.3.1. PRACTICA.....	2
1.3.2. TEÒRICA .....	2
1.4. OBJETIVOS DEL TRABAJO .....	3
1.4.1. GENERAL.....	3
1.4.2. ESPECÍFICOS .....	3
1.5. LIMITACIONES DEL TRABAJO .....	3
1.6. VIABILIDAD DEL TRABAJO.....	3
1.7. ANTECEDENTES DEL TRABAJO .....	4
1.7.1 NACIONALES.....	4
1.7.2. INTERNACIONALES.....	5
1.8. GENERALIDADES DE LA MINA JUSTA .....	6
1.8.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD .....	6
1.8.2. GEOMORFOLOGIA .....	6
1.8.3. MARCO TECTÓNICO .....	7
1.8.4. GEOLOGÍA REGIONAL .....	7
1.8.4.1 ESTRATIGRAFÍA.....	9
1.8.4.2. ROCAS INTRUSIVAS .....	10
1.8.4.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	10

1.8.4.4. GEOLOGÍA ECONÓMICA .....	11
1.8.5. GEOLOGÍA LOCAL .....	12
1.8.5.1. SECUENCIAS VOLCÁNICO – SEDIMENTARIAS DE LA FORMACIÓN RÍO GRANDE .....	12
1.8.5.2. ROCAS INTRUSIVAS DEL BATOLITO DE LA COSTA .....	12
1.8.5.3. DIQUE OCOITA DE ANDESITA TUNGA .....	13
1.8.5.4. ROCAS INDIFERENCIADAS .....	13
1.8.5.5. ROCAS DE ZONAS DE FALLAS .....	13
1.8.6. GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO DE LA MINA JUSTA .....	14
1.8.7. RESEÑA HISTÓRICA DE LA EXPLORACIÓN Y DESARROLLO DE LA MINA JUSTA .....	14
1.8.8. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO DE LA MINA JUSTA .....	17
1.9. BASES TEÓRICAS .....	19
1.9.1. DEPOSITOS TIPO IOCG .....	19
1.9.1.1. CLASIFICACIÓN DE DEPOSITOS DE IOCG .....	19
1.9.1.2. GÉNESIS DE DEPOSITOS DE TIPO IOCG .....	20
1.9.1.3. MINERALOGÍA Y ALTERACIÓN DE DEPOSITOS DE IOCG .....	21
1.9.1.4. EJEMPLOS DE DEPOSITOS TIPO IOCG LOCALES .....	22
1.9.2. TEORÍA DEL MUESTREO DE MINERALES .....	22
1.9.3. PROBLEMAS CON EL MUESTREO DE POZOS PARA VOLADURA .....	30
1.9.4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO .....	34
1.9.5. GLOSARIO DE TERMINOS .....	35
 CAPÍTULO II.....	 40
METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS .....	40
2.1. FORMULACIÓN DE LAS HIPÓTESIS.....	40
2.1.1. GENERAL .....	40
2.1.2. ESPECÍFICAS .....	40
2.2. DEFINICIÓN DE VARIABLES.....	40
2.2.1. INDEPENDIENTES .....	40
2.2.2. DEPENDIENTES .....	40
2.3. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA DEMOSTRAR LAS HIPÓTESIS .....	41
2.4. ENFOQUE DEL ANÁLISIS .....	42
2.5. DISEÑO DEL ANÁLISIS.....	42
2.6. SELECCIÓN DE LA MUESTRA .....	42
2.7. RECOLECCIÓN DE DATOS .....	43
2.8. ALCANCE DEL ANÁLISIS .....	44

CAPÍTULO III .....	45
RECOLECCIÓN, ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE DATOS .....	45
3.1. ELECCIÓN DE LOS MÉTODOS DE MUESTREO .....	45
3.1.1. MÉTODOS DE MUESTREO UTILIZANDO EL AUGER.....	45
3.1.1.1. MÉTODO DE MUESTREO DEL AUGER DE VOLUMEN   BAJO (AB)	47
3.1.1.2. MÉTODO DE MUESTREO DEL AUGER DE VOLUMEN   MEDIO (AM)	47
3.1.1.3. MÉTODO DE MUESTREO DEL AUGER DE VOLUMEN   ALTO (AA)	48
3.1.2. MÉTODOS DE MUESTREO UTILIZANDO LA PALA.....	48
3.1.2.1. MÉTODO DE MUESTREO DE CANALES DE VOLUMEN   BAJO (CB)	49
3.1.2.2. MÉTODO DE MUESTREO DE CANALES DE VOLUMEN   ALTO (C)	50
3.1.2.3. MÉTODO DE MUESTREO DE PAREDES DE CANALES (P).....	51
3.1.2.4. MÉTODO DE MUESTREO DE LA BANDEJA (B) .....	51
3.1.3. MUESTRA ESTÁNDAR O PATRÓN .....	52
3.2. ACONDICIONAMIENTO DE FALDONES DE LAS PERFORADORAS .....	53
3.2.1. FALDONES ASIMÉTRICOS DE LAS PERFORADORAS.....	53
3.2.2. FALDONES SIMÉTRICOS DE LAS PERFORADORAS .....	54
3.3. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.....	54
3.3.1. MÉTODOS DE MUESTREO EVALUADOS EN EL CONO 1 .....	55
3.3.2. MÉTODO DE MUESTREO EVALUADO EN EL CONO 2.....	56
3.3.3. MÉTODOS DE MUESTREO EVALUADOS EN EL CONO 3 .....	56
3.3.4. MÉTODOS DE MUESTREO EVALUADOS EN EL CONO 4 .....	57
3.4. REDUCCIÓN DE MUESTRAS (HOMOGENEIZACIÓN Y CUARTEO).....	58
3.5. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	58
3.6. ESTADÍSTICA DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO .....	63
3.6.1. DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE DETRITOS EN LOS CONOS... 64	
3.6.1.1. DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA EN EL CONO 1 .....	64
3.6.1.2. DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA EN EL CONO 2 .....	65
3.6.1.3. DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA EN EL CONO 3 .....	66
3.6.1.4. DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA EN EL CONO 4 .....	67
3.6.2. COMPARACIONES DE LAS DISTRIBUCIONES GRANULOMÉTRICAS ..	68
3.7. ESTADÍSTICA DEL ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD .....	70
3.7.1. ANÁLISIS DE PRECISIÓN.....	71
3.7.2. ANÁLISIS DE EXACTITUD .....	74

3.7.3. ANÁLISIS DE CONTAMINACIÓN.....	75
CAPÍTULO IV .....	77
DEMOSTRACIÓN DE LAS HIPÓTESIS.....	77
4.1. REPRESENTATIVIDAD DE LA LEY SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA .....	77
4.1.1. REPRESENTATIVIDAD DE LA LEY SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DEL CONO 1 .....	77
4.1.2. REPRESENTATIVIDAD DE LA LEY SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DEL CONO 2.....	77
4.1.3. REPRESENTATIVIDAD DE LA LEY SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DEL CONO 3.....	78
4.1.4. REPRESENTATIVIDAD DE LA LEY SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DEL CONO 4.....	79
4.2. DIFERENCIAS PORCENTUALES DE LEYES PONDERADAS.....	80
4.2.1. DIFERENCIAS PORCENTUALES DE LEYES PONDERADAS DEL CONO 1.....	80
4.2.2. DIFERENCIAS PORCENTUALES DE LEYES PONDERADAS DEL CONO 2.....	81
4.2.3. DIFERENCIAS PORCENTUALES DE LEYES PONDERADAS DEL CONO 3.....	81
4.2.4. DIFERENCIAS PORCENTUALES DE LEYES PONDERADAS DEL CONO 4.....	82
4.2.5. DIFERENCIAS PORCENTUALES DE LEYES PONDERADAS DE TODOS LOS MÉTODOS ANALIZADOS.....	83
4.3. LEYES PONDERADAS DE COBRE SOLUBLE EN ÁCIDO DE LOS MÉTODOS ANALIZADOS EN CADA MALLA .....	84
4.3.1. LEYES DE MÉTODOS Y PROMEDIO PONDERADO EN MALLA 12.....	85
4.3.2. LEYES DE MÉTODOS Y PROMEDIO PONDERADO EN MALLA 70.....	85
4.3.3. LEYES DE MÉTODOS Y PROMEDIO PONDERADO EN MALLA 100.....	86
4.3.4. LEYES DE MÉTODOS Y PROMEDIO PONDERADO EN MALLA 140.....	86
4.3.5. LEYES DE MÉTODOS Y PROMEDIO PONDERADO EN MALLA -140 .....	87
4.3.6. LEYES DE MUESTRAS SIN TAMIZAR DE MÉTODOS ANALIZADOS .....	87
4.3.7. LEYES DE MÉTODOS Y PROMEDIO PONDERADO TOTAL .....	88
4.4. DEMOSTRACIÓN DE LA PRIMERA HIPOTESIS .....	88
4.5. ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD SUGERIDO .....	89
4.5.1. PROTOCOLO SUGERIDO DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.....	89
4.5.1.1. ZONAS DE MINERAL .....	89
4.5.1.2. ZONAS DE DESMONTE.....	90

4.5.1.3.	LOGUEADAS COMO MINERAL EN ZONAS DE DESMONTE .....	90
4.5.1.4.	ZONAS DE MINERAL Y DESMONTE.....	91
4.5.2.	PROCESO DE PREPARACIÓN DE MUESTRAS.....	91
4.5.3.	GENERACIÓN DE ORDEN DE TRABAJO PARA ENSAYE .....	92
4.5.4.	MUESTRAS CONTROL POR PROCESOS Y PARÁMETROS CONTROLADOS .....	93
4.5.4.1.	MUESTRAS QUE CONTROLAN LA PREPARACIÓN (PROCESO DE CONMINUCIÓN) EN MUESTRERÍA.....	94
4.5.4.2.	MUESTRAS QUE CONTROLAN EL ANÁLISIS QUÍMICO EN EL LABORATORIO .....	95
4.5.5.	TÉCNICA DE INSERCIÓN DE MUESTRAS DE CONTROL.....	96
4.5.6.	CRITERIOS DE INSERCIÓN DE MUESTRAS DE CONTROL.....	97
4.5.6.1.	CRITERIOS DE INSERCIÓN DE MUESTRAS ESTÁNDARES.....	98
4.5.6.2.	CRITERIOS DE INSERCIÓN DE MUESTRAS DUPLICADAS .....	98
4.5.6.3.	CRITERIOS DE INSERCIÓN DE MUESTRAS BLANCAS .....	99
4.5.7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	99
4.5.7.1.	ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL PROCESO DE MUESTREO EN CAMPO.....	100
4.5.7.2.	ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL PROCESO DE MUESTREO EN CAMPO.....	100
4.5.7.3.	ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL PROCESO DE ANÁLISIS QUÍMICO .....	101
4.6.	METODOLOGÍA DEL CONTROL DE ENVÍO DE MINERAL .....	101
4.6.1.	ACTUALIZACIÓN DEL MODELO DE CORTO PLAZO (DINÁMICO) .....	101
4.6.1.1.	IMPORTANCIA DE DATOS OBTENIDOS POR EL GEÓLOGO DE LOGUEO .....	102
4.6.1.2.	INCLUSIÓN DE DATOS DE TALADROS EN EL SOFTWARE .....	103
4.6.1.3.	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA DE DATOS DE TALADROS EN EL SOFTWARE .....	104
4.6.1.4.	ACTUALIZACIÓN DEL MODELO LITOLÓGICO DE CORTO PLAZO.....	105
4.6.1.5.	ACTUALIZACIÓN DEL MODELO ECONÓMICO DE CORTO PLAZO.....	105
4.6.2.	GENERACIÓN DE POLÍGONOS DE MINADO Y CONTROL DE ENVÍO DE MINERAL .....	107
4.6.2.1.	DEFINICIÓN Y GENERACIÓN DE POLÍGONOS EN EL SOFTWARE .....	107
4.6.2.2.	DEMARCAÇÃO DE POLÍGONOS EN EL MATERIAL VOLADO...	110
4.6.3.	DEFINICIÓN DE LOS STOCKPILES.....	111
4.6.4.	SISTEMA DE ALTA PRECISIÓN DE DESPACHO DE MINA .....	112



4.6.5. IMPORTANCIA DE LA SUPERVISIÓN DEL GEÓLOGO EN EL PROCESO TOTAL DE CONTROL DE MINERAL .....	113
4.6.6. DEMOSTRACIÓN DE LA SEGUNDA HIPOTESIS .....	114
CONCLUSIONES .....	115
RECOMENDACIONES .....	116
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	117
ANEXO 1: .....	119
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS .....	119
ANEXO 2: .....	123
ANÁLISIS QUÍMICOS .....	123
ANEXO 3: .....	125
FOTOGRAFÍAS .....	125
ANEXO 4: .....	130
MAPA, VISTA, PLANO, SECCIÓN Y PRODUCCIÓN DE COBRE .....	130

## INDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1. Sección tectonomagmática del tras-arco en extensión de la mina Justa.....	7
Fig. 1.2. Geología regional de la mina Justa.....	8
Fig. 1.3. Litología y mineralización predominante en el yacimiento de la mina Justa.....	15
Fig. 1.4. Litología y mineralización predominante en la zona de sulfuros del yacimiento de la mina Justa.....	15
Fig. 1.5. Línea de tiempo del Proyecto de la Mina Justa.....	16
Fig. 1.6. Espécimen de calcopirita masiva en brechas con hematización fuerte de Olympic Dam.....	21
Fig. 1.7. Calcopirita en brecha hematizada de Prominent Hill. ....	22
Fig. 1.8. Cono de detritos de perforación.....	23
Fig. 1.9. Tipos de conos de detritos de taladros para voladura.....	23
Fig. 1.10. Componentes de un pozo y malla de voladura.....	24
Fig. 1.11. Problema principal del muestreo.....	25
Fig. 1.12. Muestreo de un espécimen.....	25
Fig. 1.13. Esquema de una muestra representativa, según el sesgo y la varianza.....	26
Fig. 1.14. Tipos de segregación.....	27
Fig. 1.15. Incrementos para constituir una sola muestra y disminuir el efecto de segregación.....	27
Fig. 1.16. Muestra representativa del “banco”. ....	27
Fig. 1.17. Captador radial. ....	28
Fig. 1.18. Pozo de voladura, tubo muestreador y forma de tomar la muestra e incrementos con el tubo.....	28
Fig. 1.19. Comparación entre captador radial y no radial. ....	29
Fig. 1.20. Esquema para probar que el tubo no es equiprobable. ....	29
Fig. 1.21. Problemas de muestreo de taladros para voladura resumidos.....	30
Fig. 1.22 Correcto diseño y posicionamiento de un cubo radial. ....	31
Fig. 1.23. Patrones de agujeros de muestreo.....	32
Fig. 1.24. Muestreo de paredes de dos canales transversales. ....	32
Fig. 3.1. Flujograma del uso correcto del rotomartillo y auger.....	46

Fig. 3.2. Método de muestreo del auger de volumen bajo (AB).....	47
Fig. 3.3. Método de muestreo del auger de volumen medio (AM).....	47
Fig. 3.4. Método de muestreo del auger de volumen alto (AA).....	48
Fig. 3.5. Muestreo utilizando la pala.....	49
Fig. 3.6. Método de muestreo de canales de volumen bajo (CB).....	50
Fig. 3.7. Método de muestreo de canales de volumen alto (C).....	50
Fig. 3.8. Método de muestreo de paredes de canales (P).....	51
Fig. 3.9. Método de muestreo de la bandeja (B).....	51
Fig. 3.10. Muestreo del estándar o patrón.....	52
Fig. 3.11. Faldones y cono asimétricos.....	53
Fig. 3.12. Acondicionamiento del faldón para formar conos simétricos.....	54
Fig. 3.13. Ubicación en 3D de los conos perforados para el análisis.....	55
Fig. 3.14. Métodos evaluados en el cono 1.....	56
Fig. 3.15. Método evaluado en el cono 2.....	56
Fig. 3.16. Métodos evaluados en el cono 3.....	57
Fig. 3.17. Métodos evaluados en el cono 4.....	57
Fig. 3.18. Agitador de tamices utilizado para el análisis granulométrico.....	61
Fig. 3.19. Fotografía de detritos retenidos por las diferentes aberturas en cada malla utilizada (1/4, 6, 12, 20, 70, 100, 140, -140). Muestra C3-2 (O), estándar o patrón del cono 3, obtenida al final de todo el proceso del cuarteo.....	62
Fig. 3.20. Porcentaje de peso retenido por malla en el cono 1.....	64
Fig. 3.21. Diferencias porcentuales de pesos retenidos en el cono 1.....	64
Fig. 3.22. Porcentaje de peso retenido por malla en el cono 2.....	65
Fig. 3.23 Diferencias porcentuales de pesos retenidos en el cono 2.....	65
Fig. 3.24. Porcentaje de peso retenido en el cono 3.....	66
Fig. 3.25 Diferencias porcentuales de pesos retenidos en el cono 3.....	66
Fig. 3.26. Porcentaje de peso retenido en el cono 4.....	67
Fig. 3.27. Diferencias porcentuales de pesos retenidos en el cono 4.....	67
Fig. 3.28. Diferencias porcentuales de peso retenido por malla de los métodos de muestreo a analizar respecto a su muestra patrón.....	68
Fig. 3.29. Gráfico de porcentajes de peso retenido en cada malla por método de muestreo analizados y promedio total.....	69

Fig. 3.30. Gráfico de diferencias porcentuales de peso retenido por malla de los métodos de muestreo a analizar respecto al promedio total.....	70
Fig. 3.31. Primer gráfico de Máx-Mín de Cu_AS (%).....	73
Fig. 3.32. Segundo gráfico de Máx-Mín de Cu_AS (%).....	74
Fig. 3.33. Tendencias de muestras estándares de Cu_AS (%).....	75
Fig. 3.34. Valores de Cu_AS(%) de blancos gruesos y finos.....	76
Fig. 4.1. Leyes de cobre soluble en ácido por malla del cono 1.....	78
Fig. 4.2. Leyes de cobre soluble en ácido por malla del cono 2.....	78
Fig. 4.3. Leyes de cobre soluble en ácido por malla del cono 3.....	79
Fig. 4.4. Leyes de cobre soluble en ácido por malla del cono 4.....	80
Fig. 4.5. Gráfico de diferencias porcentuales acumuladas del cono 1.....	81
Fig. 4.6. Gráfico de diferencias porcentuales acumuladas del cono 2.....	81
Fig. 4.7. Gráfico de diferencias porcentuales acumuladas del cono 3.....	82
Fig. 4.8. Gráfico de diferencias porcentuales acumuladas del cono 4.....	82
Fig. 4.9. Gráfico de diferencias porcentuales acumuladas de todos los métodos analizados, comparación con el patrón propio y promedio del patrón del cono.....	83
Fig. 4.10. Leyes de métodos y promedio ponderado en la malla 12.....	85
Fig. 4.11. Leyes de métodos y promedio ponderado en la malla 70.....	85
Fig. 4.12. Leyes de métodos y promedio ponderado en la malla 100.....	86
Fig. 4.13. Leyes de métodos y promedio ponderado en la malla 140.....	86
Fig. 4.14. Leyes de métodos y promedio ponderado en la malla -140.....	87
Fig. 4.15. Leyes de muestras sin tamizar (patrón propio).....	87
Fig. 4.16. Leyes promedio de métodos y promedio ponderado total.....	88
Fig. 4.17. Esquema de muestreo en zonas de mineral.....	89
Fig. 4.18. Esquema de muestreo representativo en zonas de desmonte.....	90
Fig. 4.19. Esquema de muestreo en zonas de desmonte donde el logueo detectó mineral.....	90
Fig. 4.20. Esquema de muestreo en zonas de mineral y desmonte en contacto.....	91
Fig. 4.21. Esquema general del proceso de preparación de muestras.....	92
Fig. 4.22. Diferentes proyectos de perforación.....	93
Fig. 4.23. Muestreo aleatorio estratificado para insertar muestras control.....	96
Fig. 4.24. Control de exactitud y contaminación.....	97

Fig. 4.25. Inserción de muestras estándares.....	99
Fig. 4.26. Frecuencia de inserción de muestras de control e inserción de muestras de control al final de cada lote.....	100
Fig. 4.27. Malla de perforación planeada.....	102
Fig. 4.28. Malla de perforación ajustada por el Geólogo.....	103
Fig. 4.29. Malla de perforación logueada por el Geólogo.....	104
Fig. 4.30. Resultados de leyes de Cu total en la malla de perforación.....	104
Fig. 4.31. Malla de perforación interpretada por el Geólogo.....	105
Fig. 4.32. Polígonos litológicos para actualizar el modelo de corto plazo.....	106
Fig. 4.33. Polígonos de ley de Cu Total para actualizar el modelo.....	106
Fig. 4.34. Polígono de desmonte generado en la malla de perforación.....	107
Fig. 4.35. Polígonos de ley baja generados en la malla de perforación.....	108
Fig. 4.36. Polígono de ley media generados en la malla de perforación.....	109
Fig. 4.37. Polígono de ley alta generado en la malla de perforación.....	109
Fig. 4.38. Colores de banderines y cintas de acuerdo con el material.....	110
Fig. 4.39. Polígonos cargados al GPS a demarcar en área volada.....	110
Fig. 4.40. Demarcación de polígonos en el material volado.....	111
Fig. 4.41. Ubicación ideal de los stockpiles.....	112
Fig. 4.42. Sistema de alta precisión de despacho de mina.....	113

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Métodos de Perforación existentes.....	18
Tabla 1.2. Aberturas de las mallas según la norma ASTM D-422.....	34
Tabla 3.1. Métodos de muestreo de minerales.....	45
Tabla 3.2. Resumen y primera discriminación de métodos a analizar.....	58
Tabla 3.3. Resumen del proceso de reducción (homogenización y cuarteo) de las muestras primarias.....	59
Tabla 3.4. Valores de porcentaje de humedad obtenidos en las muestras, muestras separadas para ser patrones propios y masas nuevas que pasarán por los tamices.....	60
Tabla 3.5. Tamices del análisis granulométrico.....	60
Tabla 3.6. Códigos de muestras enviadas al laboratorio químico.....	63
Tabla 3.7. Diferencias porcentuales del peso retenido por malla de los métodos de muestreo a analizar respecto a su muestra estándar o patrón.....	68
Tabla 3.8. Diferencias porcentuales del peso retenido por malla de los métodos de muestreo a analizar respecto al promedio total.....	69
Tabla. 3.9. Matriz de órdenes (lotes) de envío al laboratorio para la preparación y el análisis químico.....	71
Tabla. 3.10. Primer cuadro de parámetros para analizar el nivel precisión.....	72
Tabla. 3.11. Segundo cuadro de parámetros para analizar el nivel precisión.....	73
Tabla. 3.12. Parámetros para analizar el nivel de exactitud del análisis químico.....	74
Tabla. 3.13. Parámetros para analizar el nivel de contaminación.....	75
Tabla. 4.1. Cuadro comparativo de diferencias porcentuales de todos los métodos analizados.....	83
Tabla. 4.2. Leyes ponderadas de métodos analizados en cada malla.....	84
Tabla. 4.3. Cuadro comparativo de las posiciones de los métodos de muestreo analizados.....	88
Tabla. 4.4. Procesos y parámetros controlados por muestras control.....	94
Tabla. 4.5. Frecuencia sugerida de inserción de muestras de control.....	97
Tabla. 4.6. Frecuencia de inserción dinámica de muestras de control sugerida y procesos controlados.....	98

## RESUMEN

El yacimiento mineral de la mina Justa, ubicado en el departamento de Ica, es un yacimiento tipo IOCG, es explotado a tajo abierto.

El plan de minado es retador, durante dos años se acumulará mineral en almacenamientos temporales hasta la construcción de las plantas de procesamiento, sin embargo no hay un sustento del análisis del método de muestreo de detritos de los taladros para voladura.

Los objetivos del presente trabajo fueron: analizar métodos de muestreo para definir el más representativo y operativo, sugerir un aseguramiento y control de la calidad dinámico y flexible y definir un control de envío de mineral eficiente.

Para esto, se utilizó muestras de detritos de los taladros para voladura obtenidas en la campaña para sustentar el método a utilizar, obteniendo resultados granulométricos y químicos, analizados con una metodología cuantitativa, con procesamientos estadísticos básicos, primero correlacionando variables para definir el mejor método de muestreo y luego describiendo los procedimientos sugeridos de aseguramiento y control de la calidad y control de envío de mineral.

Se concluyó demostrando que el mejor método de muestreo es el que utiliza al auger como herramienta de muestreo, recolectando un volumen medio de detritos (12.5 kg), además se confirmó que existe una relación importante entre el método de muestreo y la granulometría de los detritos obtenidos, así mismo, se define el muestreo para cada tipo de taladro basado en su ocurrencia de mineral.

Igualmente, se sugirió una frecuencia de inserción de muestras de control basada en la cantidad de muestras y el contenido de mineral, así como una metodología aleatoria estratificada de inserción de muestras de control.

Finalmente, se concluyó que tener analizados estos procesos previos, facilitará el control de envío de mineral con mínima posibilidad de dilución, lo cual se podrá confirmar cuando las plantas de procesamiento de mineral tengan conciliaciones positivas dentro de dos años.

## **ABSTRACT**

The mineral deposit of the Justa mine, located in the department of Ica, is an deposit IOCG type, is exploited with an open pit.

The mining plan is challenging, for two years ore will accumulate in temporary storage until the construction of processing plants, however there is no support for the analysis of debris sampling method for blasting drills.

The objectives of the present analysis were: to analyze sampling methods to define the most representative and operative, to suggest an assurance and control of the dynamic and flexible quality and to define an efficient shipping control of ore.

For this, we used debris samples from the blast holes obtained in the campaign to support the method to be used, obtaining granulometric and chemical results, analyzed with a quantitative methodology, with basic statistical processing, first correlating variables to define the best method of sampling and then describing the suggested procedures for quality assurance and control and control of mineral shipment.

It was concluded by demonstrating that the best sampling method is the one that uses the auger as a sampling tool, collecting an average volume of debris (12.5 kg), in addition it was confirmed that there is an important relationship between the sampling method and the granulometry of the obtained detritus, likewise, the sampling for each type of drill is defined. in its occurrence of mineral.

Likewise, a frequency of insertion of control samples was suggested based on the number of samples and the mineral content, as well as a stratified random methodology of insertion of control samples.

Finally, it was concluded that having analyzed these previous processes, will facilitate the control of mineral shipment with minimal possibility of dilution, this can be confirmed when the ore processing plants have positive reconciliations within two years.



## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

En la mina Justa el tratamiento del mineral por parte de las plantas (óxidos y sulfuros) iniciará en octubre del 2020, así desde diciembre del 2018 está planeado acumular material según su ley de cobre y consumo de ácido.

El área de Control de Mineral se encarga de proporcionar información esencial para la producción en mina, mejora la estimación de los recursos minerales ya que genera información a corta distancia (mayor confiabilidad), define mejor el destino de los materiales (stocks, plantas y material de desmonte) y proporciona información para mejorar la planificación a corto plazo. Esto se logra gracias a la información obtenida del muestreo de detritos acumulados en los conos de los taladros para voladura, dicha información forma parte vital de la base para tomar decisiones en el corto plazo y ajustar los planes de mediano y largo plazo.

Es necesario realizar un análisis que nos permita decidir cuál es el mejor método de muestreo, que refleje la calidad del mineral y tonelaje que representa, así como controlar y asegurar la calidad de estas muestras durante todos sus procesos, mediante un programa de aseguramiento y control de la calidad adecuado a las condiciones operativas, para así lograr un correcto control de envío de mineral a los stocks y minimizar la dilución.

#### **1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

La acumulación de todo el material económico explotado por el minado durante dos años, en áreas de almacenamiento temporal de acuerdo con sus variables mineralógicas y metalúrgicas, reportado por la información del muestreo de detritos de los taladros practicados para voladura, demarca la principal problemática, debido a que aún no se cuenta con un sustento del método de muestreo a utilizar que asegure la representatividad del tonelaje a minar.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. GENERAL**

¿Al no contar con un sustento del método de muestreo de detritos de los taladros perforados para voladura, tampoco de un aseguramiento y control de la calidad adecuado y un procedimiento de control de envío de mineral efectivo a las áreas de almacenamiento origina dilución y pérdidas económicas?

### **1.2.2. ESPECÍFICOS**

- ¿Existirá relación entre el método de muestreo, la cantidad de muestra obtenida, la granulometría de los detritos, las leyes resultado de los análisis y el tonelaje del mineral?
- ¿Se puede asegurar y controlar la calidad de las muestras obtenidas mediante un método de inserción de muestras de control más dinámico y operativo que permite el éxito en el envío de mineral por el Geólogo?

## **1.3. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO**

### **1.3.1. PRACTICA**

Analizar ahora el método de muestreo, pues las plantas de procesamiento de mineral iniciarán sus operaciones en Octubre del 2020.

### **1.3.2. TEÒRICA**

Toda la información que genere el muestreo de los detritos será aceptada como apropiada al comparar el modelo de largo plazo con el modelo de corto plazo (basado en los detritos muestreados de los taladros perforados para voladura).

## **1.4. OBJETIVOS DEL TRABAJO**

### **1.4.1. GENERAL**

Analizar el método de muestreo de detritos de los taladros perforados para voladura adecuado a las condiciones operativas, es parte básica y esencial del control de envío mineral.

### **1.4.2. ESPECÍFICOS**

- Desarrollar un programa de muestreo de detritos de taladros perforados para voladura, con métodos de muestreo que permita asegurar la calidad dinámica y flexible con la operatividad de la mina Justa.
- Definir la metodología de inserción de muestras de control y del control de envío de mineral, buscando minimizar al máximo la dilución operativa.

## **1.5. LIMITACIONES DEL TRABAJO**

Aún no existe producción de mineral, esto limitó el presente análisis, debido a que existen distintas áreas mineralizadas con distintos programas de explotación a corto, mediano y largo plazo. Debido a estos aspectos se tuvo que realizar el presente trabajo por prioridades, nos limitados a realizar un análisis básico del método de muestreo.

## **1.6. VIABILIDAD DEL TRABAJO**

Es viable realizar el análisis, se cuenta con recursos humanos e información de las perforaciones de taladros donde se realizó estas pruebas de muestreo; como su análisis granulométrico y las leyes del cobre soluble en ácido, obteniendo así valores cuantitativos en elementos de mena.

También resulta viable porque contribuye a establecer el procedimiento de muestreo de detritos de los taladros perforados para voladura, control de la calidad de muestras y de envío de mineral.

## **1.7. ANTECEDENTES DEL TRABAJO**

En la mina Justa, este trabajo es inédito, no existen publicaciones que analicen tal metodología enfocada en la operación de algún yacimiento en específico, más bien si algunas que indican de manera somera que metodología utilizan y publicaciones de investigadores que de forma general proponen hipótesis en base a su experiencia en diversas minas.

### **1.7.1 NACIONALES**

En el procedimiento de muestreo para el área de Geología de la mina Justa, octubre 2017, se indica que la metodología de muestreo se realizará con un rotomartillo y auger, donde el cono será subdividido en cuatro cuadrantes, en cada uno se ubicará tres puntos de muestreo en forma de triángulo, obteniendo 18 kg de muestra que debe de representar los 1700 kg que se obtiene del cilindro perforado de 25.1 cm de diámetro por 12 m. de profundidad, que al final representará a un volumen de 585 toneladas aproximadamente, siendo estos 18 kg el 1.05% del volumen formado en el cono (1700 kg) y el 0.003% del volumen final al que representa (585 toneladas).

Gutierrez (2016), en su tesis “metodología de control de calidad de mineral en la producción de Oro, aplicado en minería a tajo abierto – “Yacimiento Jessica” Compañía Minera Aruntani – Puno – Perú”, aborda el tema sin mucho detalle, informando que la metodología de muestreo utilizada es la de canales en forma de cruz, utilizando una pala para realizar los canales y recolectar la muestra también, obteniendo 15 kg de muestra que debe de representar los 250 kg que se obtiene del cilindro perforado de 15 cm. de diámetro por 8 m. de profundidad, que al final representará a un volumen de 300 toneladas aproximadamente, siendo estos 15 kg el 6% del volumen formado en el cono (250 kg) y el 0.005% del volumen final al que representa (300 toneladas).

Canchaya (2018), en su artículo “QA/QC ¿Realidad o Fantasía? Siete Años Después” realizado en el Primer Congreso Internacional de Muestreo de Minerales 2018, indica que la práctica actual del aseguramiento y control de la

calidad sigue siendo inadecuada, debido a que se centra mayormente en la inserción de muestras de control (blancos, duplicados y estándares); descuidando lo más importante: el Aseguramiento de la Calidad, sobre todo del Muestreo Primario, donde se encuentran el mayor porcentaje de errores (de 1 a 1000 veces mayor), estos errores se evidencian al comparar las muestras duplicadas de campo, las cuales deben de ser un criterio cuantitativo esencial para validar un método de muestreo de taladros de voladura.

### **1.7.2. INTERNACIONALES**

David y Toh (1989), en su publicación “Problemas de Dilución y Geoestadística en el Control de Mineral”, concluye indicando que el modelo geoestadístico ciertamente puede ayudar a resolver problemas prácticos pero mejorar la calidad del muestreo de los pozos para voladura puede ayudar a reducir la dilución, al igual que aumentar el número de muestras para el control de mineral, estas sin embargo, pueden ser proposiciones costosas.

Knudsen (1991), en su publicación “Muestras de Pozos de voladura – Una Fuente de Sesgo”, resume así: en la mayoría de las minas a tajo abierto, la selección de desmonte y mineral se basa en estimaciones hechas a partir de muestras de pozos, estas estimaciones frecuentemente son sesgadas.

Pierre Gy y Bongarcon (1999), indican que las órdenes de magnitud de los errores relativos son: 1000% durante el muestreo primario (muestreo en campo), 50% durante el muestreo secundario (preparación) y entre 0.1 - 1 % durante el análisis químico. Además existe una dilución de 2% que se va al desmonte, lo cual genera pérdidas millonarias (26.8 millones de soles al año), pudiendo evitarse esto si se implementa un sistema de muestreo adecuado a las condiciones operativas de cada mina (un solo pago de 300 mil soles).

Pitard (2008), en su publicación “Muestreo de Taladros de Voladura para el Control de Mineral – Múltiples Problemas y Soluciones”, concluye indicando que el muestreo de taladros de voladura no puede proporcionar muestras representativas, puesto que muchos de sus problemas no tienen solución y el impacto económico de tales deficiencias es muy subestimado por la industria

minera. Dando una alternativa con la perforación de circulación inversa, la cual presenta muchas ventajas que pueden superar con creces su costo adicional y presencia en la operación minera, asegura que es altamente recomendable que las empresas mineras tomen una nueva visión de la economía de la perforación de circulación reversa para el control de mineral, en lugar de apreciar las viejas formas que conducen a problemas de reconciliación más adelante.

Dominguez (2018), en su artículo “Gestión de la Calidad (QM): El Núcleo de los Procesos QAQC” realizado en el Primer Congreso Internacional de Muestreo de Minerales 2018, asegura que las diferentes etapas de evolución de un proyecto se basan en muestras, generalmente de pocos gramos que representan grandes toneladas, haciendo un cálculo aproximado se afirma que la producción anual de la gran minería se basa en tan solo 2000 muestras y en tan solo 1 kg de muestras analizadas en el laboratorio químico.

## **1.8. GENERALIDADES DE LA MINA JUSTA**

### **1.8.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD**

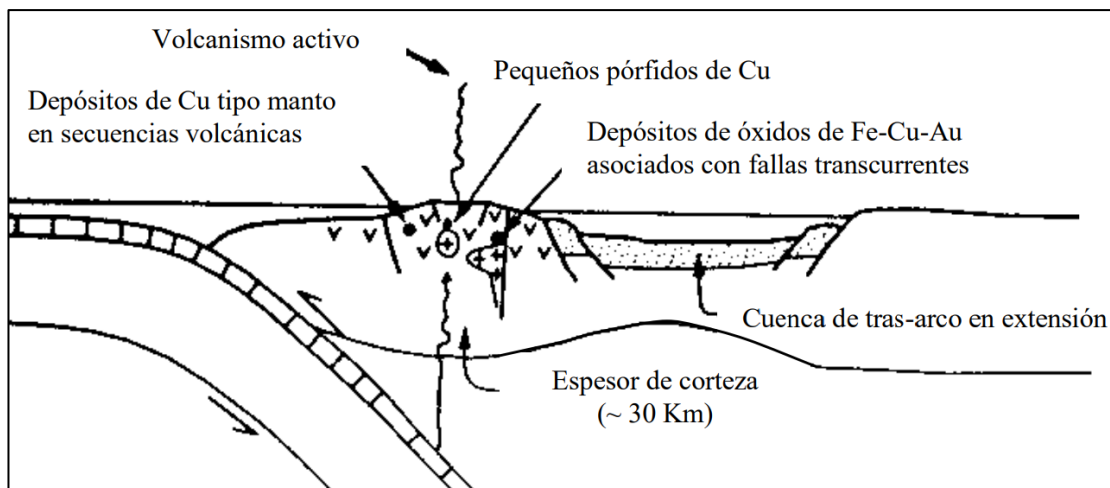
Mina Justa se encuentra ubicada políticamente en el distrito de San Juan de Marcona, en la provincia de Nasca y en el departamento de Ica, como referencia la coordenada central UTM – WGS84: 493291.71 E y 8323723.61 N, a una altura de 780 m.s.n.m. Desde la ciudad de Lima, hacia el sureste, es accesible por la Panamericana Sur, hasta la ciudad de Nasca por 530 Km. de recorrido por 7 horas, en avioneta por 1.5 horas. Luego de Nasca, hacia el sur, accesible por vía terrestre, por 75 Km. de recorrido por 1 hora (**Figura A4.1**).

### **1.8.2. GEOMORFOLOGIA**

El área se encuentra en una extensa meseta esculpida, formando una plataforma de erosión marina, en la fracción más joven de la cadena de la Cordillera de la Costa (Caldas, 1978). Localmente cubierta por depósitos eólicos cuaternarios, con afloramientos rocosos dispersos y marcados en zonas de quebradas, con relieve plano ondulado con pequeñas quebradas secas (Medina, 2016).

### 1.8.3. MARCO TECTÓNICO

El yacimiento de la mina Justa se desarrolló bajo un contexto tectónico de extensión durante el Jurásico-Cretáceo inferior en la cuenca de tras-arco volcánico, con una subducción de alto ángulo (**Figura 1.1**).

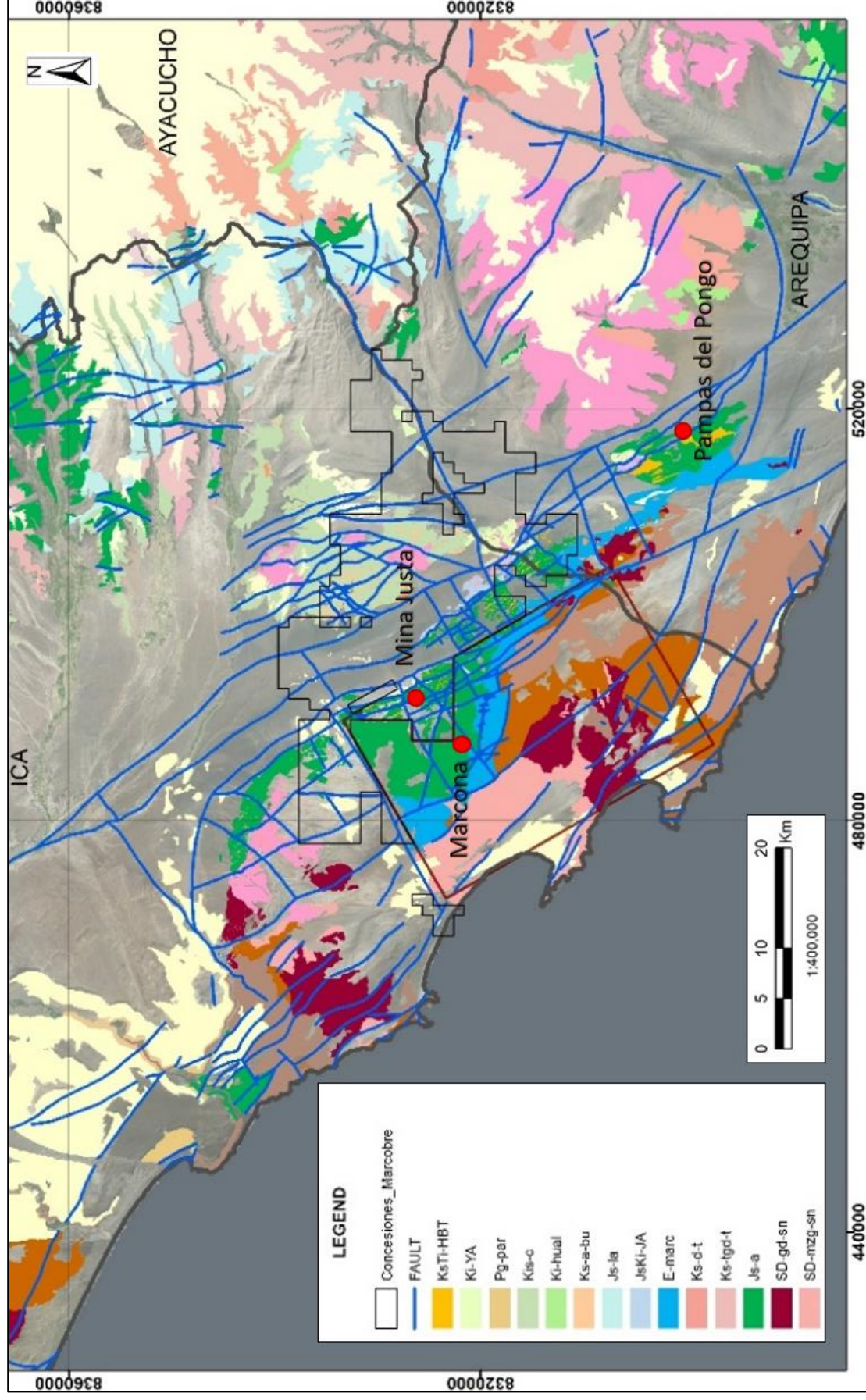


**Fig. 1.1.** Sección tectonomagmática del tras-arco en extensión de la mina Justa.  
**Fuente:** Sillitoe y Perelló (2005)

### 1.8.4. GEOLOGÍA REGIONAL

Se presentan unidades formadas desde el Precambriano hasta el Reciente, la más antigua, el Complejo Basal de la Costa de rocas metamórficas cubiertas en discordancia angular por tilloides (Fm. Chiquerío) y ésta por la Fm. San Juan.

A principios del Paleozoico inferior se acumuló la Fm. Marcona y en el Ordoviciano se emplazó el Batolito de San Nicolás. La sedimentación mesozoica se inició con una transgresión que cubrió la región durante el Jurásico superior, con el desarrollado dos facies de acumulación: una occidental de margen de cuenca constituida por las Fm. Rio Grande (Caloviano-Oxfordiano), Jahuay (Titoniano) y Yauca (Neocomiano). En el Aptiano - Albiano inferior se formaron los volcánicos y grauvacas de la Fm. Copara. Luego la transgresión del Terciario cubrió la región durante el Mioceno, con movimiento tafrogénicos, depositando la Fm. Pisco, en el Plioceno, la invasión marina se extendió hasta el flanco occidental de los Andes, labrando la Peneplanicie Pliocénica, seguida por una rápida regresión, acumulándose el Volcánico Sencca. Dicha regresión continuó a través del Pleistoceno y el Reciente, desarrollándose terrazas marinas, dunas de arena y abanicos aluviales (Caldas, 1978) (**Figura 1.2**).



**Fig. 1.2.** Geología regional de la mina Justa. **Fuente:** Área de Control de Mineral de Mina Justa (2019)



#### **1.8.4.1 ESTRATIGRAFÍA**

Las unidades más antiguas están constituidas por rocas de metamorfismo regional, esquistos, metaarcosas, gneises y granitos dentro del Complejo Basal de la Costa. Suprayaciendo al complejo cratónico en discordancia angular, se tiene una secuencia metasedimentaria de origen glacial precambriana, la Fm. Chiquerío, que marca un registro climatológico muy significativo con una secuencia clástica.

Las formaciones calcáreas premesozoicas se han dividido en dos unidades: la Fm. San Juan, de edad precambriana superior, en aparente contacto gradacional sobre la Fm. Chiquerío, y la Fm. Marcona, del Paleozoico inferior, una secuencia calcárea premesozoica, vinculada a los depósitos de hierro de Marcona.

Entre las unidades mesozoicas comprendidas entre el Caloviano y el Neocomiano, se distinguen dos facies de acumulación: la primera occidental de margen de cuenca, formada de abajo a arriba por las Fm. Río Grande, Jahuay y Yauca y la segunda oriental del grupo Yura. La Fm. Río Grande, unidades volcánico-sedimentarias que se exponen en la faja costanera del departamento de Ica, la Fm. Jahuay, un aglomerado volcánico marrón con inclusiones de diferentes litoclastos redondeados y angulosos, en aparente concordancia sobre la Fm. Río Grande, la Fm. Yauca, secuencia de rocas sedimentarias abigarradas. La secuencia mesozoica más joven reconocida, es una serie volcánico-sedimentaria, clástica sub horizontal, denominada Fm. Copara, de edad Aptiano-Albiana inferior.

El terciario está representando por estratos supramiocenos de la Fm. Pisco, de ambiente marino, con areniscas conglomerádicas de grano grueso, intercalaciones de arcillas esmectíticas y areniscas tobáceas grises y alternancias tufáceas, seguidos hacia arriba por depósitos continentales de edad pliocena de la Fm. Millo y el Volcánico Sencca, este volcánico presenta una serie piroclástica de tufos de color blanco o gris claro o ligeramente rosado, de naturaleza mayormente dacítica o riolítica.

Ya en el Pleistoceno se depositaron terrazas marinas, flujos de barro y se desarrollaron dunas de arena, acumulándose también depósitos aluviales (Caldas, 1978).

#### **1.8.4.2. ROCAS INTRUSIVAS**

Las rocas intrusivas plutónicas se las ha agrupado en dos grandes complejos batolíticos denominados: Batolito San Nicolás y Batolito de la Costa.

El Batolito San Nicolás reconocido tradicionalmente como Granodiorita San Nicolás, intruye a unidades del Complejo Basal de la Costa y formaciones calcáreas premesozoicas.

El Batolito de la Costa se expone en el sector nororiental de la región, integrando el macizo andino y la Peneplanicie Pliocénica, está separada de los plutones de la Cordillera de la Costa por una franja ancha de fallamiento, cuya expresión morfotectónica es la Depresión Preandina donde las intrusiones de emplazamiento profundo son muy escasas.

Es probable que en el transcurso del Cretáceo medio o albores del Cenozoico, se hayan emplazado dos grandes masas hipabisales, denominadas Volcánico Intrusivo Bella Unión y Andesita Tunga. El primero se dio durante el Cretáceo medio o superior, con la intrusión de grandes masas hipoabisales a lo largo del margen occidental de la cuenca andina, asociado a soluciones de cobre, constituido por andesitas y dacitas porfiríticas, la Andesita Tunga a lo largo de una franja NO-SE cruza diagonalmente la Depresión preandina y el sector nororiental de la Cordillera de la Costa, presenta una roca subvolcánica de composición andesítica, dicha intrusión se ha emplazado como relleno de fracturas y fallas de desplazamiento de rumbo, probablemente durante la tectogénesis del Cretáceo tardío o principios del Cenozoico. Además, ocurren intrusiones menores, tales como apófisis tardías, unidades mayores, en forma de puntones o enjambres de diques (Caldas, 1978).

#### **1.8.4.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

El desarrollo estructural mesozoico-cenozoico está constituido por dislocamientos profundos, plegamientos y emplazamientos de masas plutónicas e hipoabisales, y ascenso de soluciones mineralizantes.

Durante el Jurásico superior se desarrolló el Domo de Marcona, relacionado a la fase tectónica nevadiana, donde se habría depositado el hierro de Marcona.

Durante el Cretáceo medio o superior tuvo lugar la intrusión de grandes masas hipoabisales a lo largo del margen occidental de la cuenca andina, localmente conocido como Volcánico Intrusivo Bella Unión.

Con la tectogénesis del Cretáceo tardío o principios del Cenozoico, se produjeron fallamientos de gran magnitud en el continente, seguidos por ascensión de la Andesita Tunga e inicio de intrusión de diferentes unidades del Batolito de la Costa, asociadas a la mineralización hierro-cobre y en parte oro.

Los acontecimientos más saltantes del punto de vista morfo-tectónico del Cenozoico son los movimientos gravitacionales del Mioceno al Plioceno y el retiro del mar, terrazas marinas, dunas de arena y disección de éstos por valles transversales durante el Pleistoceno y el Reciente (Caldas, 1978).

#### **1.8.4.4. GEOLOGÍA ECONÓMICA**

La región es materia de intensa actividad minera, metálica y no metálica, encontrándose en desarrollo creciente su producción, actualmente activa.

Los yacimientos metálicos se distinguen por un zonamiento regional, marcado por dos generaciones de emplazamiento, la primera (occidental) por el emplazamiento de menas de hierro y la segunda (oriental) de cobre, desde el punto de vista metalogénico, la región se encuentra ubicada dentro de la Provincia Metalogénica Occidental (Bellido, 1972). En el macizo andino y al este de la zona de hierro, existe una importante mineralización de cobre, con dos etapas principales de generación de menas de cobre.

Los yacimientos no metálicos por su parte se desarrollan en áreas aisladas, en diferentes sectores del cuadrángulo de San Juan, donde la Fm. San Juan ha sufrido una total recrystalización por sobre imposición a un metamorfismo regional por otro de contacto, dando lugar a áreas de marmolización.

En los niveles superiores de la Fm. Pisco, se presentan niveles de cenizas y tufos que alternan con delgadas capas lenticulares de bentonitas, que pueden alcanzar espesores apreciables, por ejemplo, la ocurrencia de mantos de arcillas bentoníticas en el área de la pampa El Choclón adyacente a la bahía de San Nicolás, que se explotan para preparar pellets de hierro (Caldas, 1978).

### **1.8.5. GEOLOGÍA LOCAL**

Localmente, en la mina Justa se aprecia la Fm. Río Grande, con secuencias volcanosedimentarias), rocas intrusivas del Batolito de la Costa, como diorita, microdiorita y monzodiorita, así mismo diques denominados Ocoita (Andesita Tunga), e hipoabisales de andesitas pórfido hornbléndicas. Además se tienen agrupadas algunas rocas que no se pueden diferenciar, pero se diferencian unas de otras por su característica o contenido de: brecha craquelada, brecha hidrotermal, actinolita, magnetita o zona mineralizada. Finalmente se aprecian en zonas de falla, rocas de brecha tectónica y de panizo de falla (**Figura A4.3**).

#### **1.8.5.1. SECUENCIAS VOLCÁNICO – SEDIMENTARIAS DE LA FORMACIÓN RÍO GRANDE**

Se observa, la arenisca arcósica clástica con variada granulometría, en determinados niveles presentan material retrabajado de rocas volcánicas (toba de cristales de composición andesítica), con niveles de estratificación cruzada.

Luego, se aprecia rocas volcánicas de andesita porfirítica, con fenocristales de plagioclasas con tamaños de 2 a 7 mm y con abundancia de 7 a 20%, presenta maclas polisintéticas.

Finalmente, encontramos las rocas piroclásticas, cristales de tobas de textura vítrea de grano fino, que puede presentar fragmentos líticos de tamaños entre 1 a 20 mm, dentro de una matriz vítrea fina. Así mismo tobas tipo lapilli de textura vítrea fragmental de grano grueso, generalmente presentan fragmentos líticos de tamaños mayores a 20 mm, dentro de una matriz vítrea fina.

#### **1.8.5.2. ROCAS INTRUSIVAS DEL BATOLITO DE LA COSTA**

Se aprecia intrusivos de diorita, de textura porfirítica, con plagioclasas menores a 5 mm (20 a 30%), con masa fundamental compuesta por microcristales de color gris verdoso y gris marrón.

Encontramos también intrusivos de microdiorita de grano fino menor a 2 mm, con plagioclasas (menor a 25%) y feldespatos potásicos (menor a 5%).

Finalmente, se observan intrusivos de monzodiorita de textura porfirítica de grano fino menor a 2 mm, con plagioclasas (25%), feldespato potásico (15%) y hornblendas menores a 1 mm.

#### **1.8.5.3. DIQUE OCOITA DE ANDESITA TUNGA**

Se observan múltiples diques de textura porfirítica de grano grueso, 15 a 25% de plagioclasas bien desarrolladas (cristales de 7-25 mm), presenta maclas polisintéticas y entrecrecimiento de cristales. Se caracteriza por presentar contactos de enfriamiento con una coloración marrón y gris oscuro, la matriz es afanítica a microcristalina de color gris y marrón grisáceo.

#### **1.8.5.4. ROCAS INDIFERENCIADAS**

Se observan brechas craqueladas, con clastos soportados de magnetita, con presencia de sulfuros (calcosina, calcopirita y pirita), con clastos angulosos a subangulosos de rocas de arcosa y andesita y cristales de feldespato potásico, se presenta al piso y techo de los cuerpos mineralizados.

También se observan brechas hidrotermales, de matriz soportada de magnetita, con presencia de sulfuros también (calcosina, bornita, calcopirita y pirita), especularita y actinolita, con clastos redondeados a subredondeados de arcosa, piroclásticos, andesitas, feldespato potásico y sulfuros (calcopirita y pirita), también se presenta al piso y techo de los cuerpos mineralizados.

Tenemos a la actinolita masiva a semimasiva (menor a 50% de actinolita) que se presenta asociada a la magnetita, con presencia de sulfuros (calcopirita, pirita, bornita y calcosina). Se aprecia la magnetita que se presenta de manera semimasiva a masiva (mayor a 50% de magnetita) con presencia de sulfuros de calcopirita – pirita, a la hematita con presencia de bornita – calcosina, y a la actinolita con presencia de crisocola.

Finalmente, tenemos a las rocas de la zona de mineralización, que se presenta en forma masiva a semimasiva (mayor a 50%) de calcopirita – pirita, generalmente se encuentra en la parte central del cuerpo mineralizado, asociado principalmente a la actinolita y magnetita.

#### **1.8.5.5. ROCAS DE ZONAS DE FALLAS**

Se observan brechas tectónicas de matriz soportada compuesta por panizo y/o polvo de roca con fragmentos monomícticos y polimícticos mayores a 2 mm, redondeados a subangulosos.

Además se diferencian zonas de panizo de falla, propiamente dicho, de panizo muy fino, menor a 0.1 mm, no cohesivo, compuesto por minerales arcillosos de color principalmente marrón, marrón grisáceo, se presentan en potencias menores a 1 m.

#### **1.8.6. GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO DE LA MINA JUSTA**

Mina Justa forma parte del clúster metalogénico Marcona, comprenden estructuras mineralizadas tipo IOCG (cuerpos-brechas y mantos).

En el proyecto se expone la Fm. Río Grande con secuencias de rocas volcanosedimentarias que incluyen andesita y arcosa (metalotecto en la zona), la cual ha sufrido procesos de fallamiento regional y local, que controla la mineralización del depósito, movimientos sinextrales, dextrales y gravitacionales (Pope, 2003) son característicos, lo que permitió la intrusión de diques menores pre mineralización del Batolito de la Costa, posterior a ello se dio los procesos de alteración (7 Estadios) y mineralización (3 Estadios) que dieron origen al cuerpo de brechas de la mina Justa y a la formación del manto magnetita.

La mineralización en la zona de sulfuros comprende bornita - calcosita > calcopirita – piritita (**Figura 1.4**) y la zona de óxidos (crisocola – atacamita > cuprita) en la parte superior del depósito (+-250m) (**Figura 1.3**).

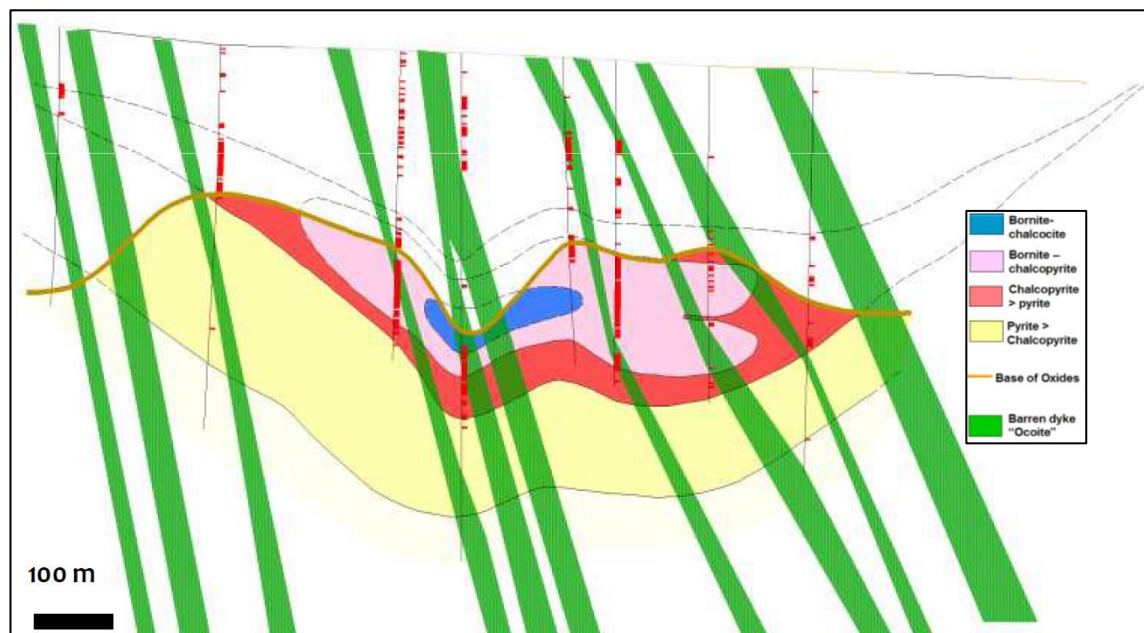
Finalmente, posterior a la mineralización se han intruido los diques denominados Ocoita (Andesita Tunga), y diques menores como Andesita porfirítica hornbléndica (**Figura A4.4**).

#### **1.8.7. RESEÑA HISTÓRICA DE LA EXPLORACIÓN Y DESARROLLO DE LA MINA JUSTA**

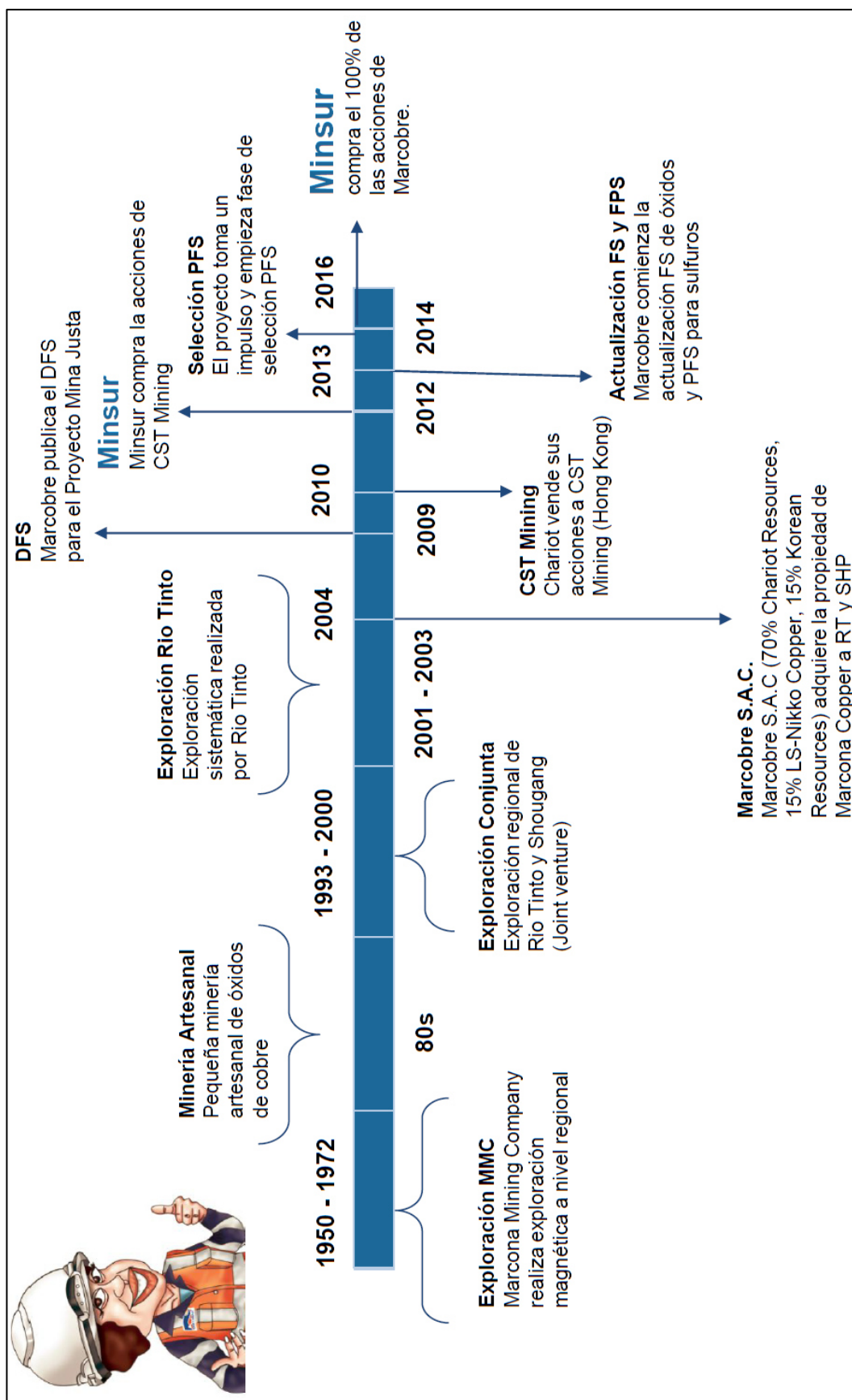
En la **figura 1.5**, se observa la evolución histórica de la mina Justa, concluyendo que en Diciembre del 2018 se inició la etapa del minado y acumulación de materiales en los almacenamientos temporales, y que aproximadamente en Octubre del 2020 se iniciará la etapa de producción.



**Fig. 1.3.** Litología y mineralización predominante en el yacimiento de la mina Justa.  
**Fuente:** Baxter (2006)



**Fig. 1.4.** Litología y mineralización predominante en la zona de sulfuros del yacimiento de la mina Justa. **Fuente:** Acosta (2013)



**Fig. 1.5.** Línea de tiempo del Proyecto de la Mina Justa. **Fuente:** [http://www.marcobre.com/wp-content/uploads/2017/02/Marcobre\\_2016\\_Geologia.pdf](http://www.marcobre.com/wp-content/uploads/2017/02/Marcobre_2016_Geologia.pdf)



### 1.8.8. CARACTERISTICAS DEL PROYECTO DE LA MINA JUSTA

Como características generales, se puede indicar:

- Mina Justa es un proyecto de Cobre cuyo proceso será a tajo abierto.
- El método de perforación utiliza un mecanismo rotatorio con triconos, buscando la producción de bancos mediante la continua perforación mecanizada (**Tabla 1.1**).
- Cuenta con una huella reducida y confinada, generando menos impacto.
- Contará con una planta de sulfuros y otra de óxidos, diseñadas con tecnología de última generación.
- Empleará agua de mar en sus instalaciones.
- Se desarrollará bajo los más altos estándares nacionales e internacionales.
- Contará con una subestación eléctrica y planta de agua.
- Aplicará estadísticas sísmicas del lugar y estándares internacionales en sus depósitos, relaves y botaderos.

Como características de su valor económico, se estima:

- Una vida de mina de 19 años, con tres años de construcción, trece años de operación y tres años de cierre de mina.
- El total de la inversión de capital se calcula en un poco más de US\$ Mil millones aproximadamente.
- El inicio de producción está previsto para el año 2020.
- Reporta recursos de 214 Mt de óxidos con 0.46 % CuT y 102 Mt de sulfuros con 0.96 % CuT.
- La producción promedio anual se estima en 160,000 toneladas de concentrado de cobre y 55,000 toneladas de cátodos de cobre, lo cual aportará en la producción de cobre en el Perú (ver **Figura A4.5**).
- Capacidad de Planta de Óxidos: 33,000 t/d (12 Mt/año).
- Capacidad de Planta de Sulfuros: 17,000 t/d (6 Mt/año).

MÉTODOS DE PERFORACIÓN				
SEGÚN EL MÉTODO MECÁNICO DE PERFORACIÓN				
MÉTODOS ROTOPERCUTORIOS		MÉTODOS ROTATIVOS		
Labores subterráneas y precorte en tajo abierto. Acción combinada de percusión, rotación, barrido y empuje. Aplicable en todos los tipos de roca (blandas y duras). Amplia gama de diámetros de perforación. Gran movilidad y requiere un operador.		Con triconos, si la penetración en la roca se realiza por trituración y con brocas especiales si es por corte. Con triconos, es para rocas de dureza media a alta y con brocas en rocas blandas. No existe la percusión.		
SEGÚN EL TIPO DE MAQUINARIA				
PERFORACIÓN MANUAL		PERFORACIÓN MECANIZADA		
Usan equipos ligeros operados por perforistas. Se utiliza en trabajos de pequeña envergadura, lo cual no justifica económicamente el empleo de otras máquinas.		Los equipos van montados sobre estructuras llamadas orugas, desde donde el operador controla en forma cómoda todos los parámetros de perforación.		
SEGÚN EL TIPO DE TRABAJO				
BANQUEO	GALERIAS Y TÚNELES	PRODUCCIÓN	CHIMENEAS Y PIQUES	RECUBRIMIENTO
Verticales o inclinadas. Minería a tajo abierto. En subterránea, para el hundimiento por subniveles.	Preferentemente horizontales, manual o mecanizada. Para minería a gran escala subterránea se utiliza los "jumbos", con uno a tres o más brazos de perforación, logrando rapidez y automatización.	Conjunto de trabajos de extracción de mineral en explotaciones mineras. Se ejecuta para cumplir los programas de producción previamente establecidos.	Labores verticales, en minería subterránea y obras civiles. Destacan los métodos del "Raise Boring" y la jaula trepadora "Alimak"	En perforación de pozos de captación de aguas y perforaciones submarinas.

**Tabla 1.1.** Métodos de Perforación existentes. **Fuente:** <https://www.slideshare.net/gandaur/mtodos-de-perforacin>. fecha de consulta 26-11-

## **1.9. BASES TEÓRICAS**

### **1.9.1. DEPOSITOS TIPO IOCG**

Los depósitos de óxido de hierro, cobre y oro (IOCG) son concentraciones importantes y muy valiosas de minerales de cobre y oro alojados en ensambles de ganga dominante de óxido de hierro y comparten un origen genético común.

Estos cuerpos de mineral van desde alrededor de 10 millones de toneladas de mineral contenido, hasta 4,000 millones de toneladas o más, y tienen una ley de entre 0,2% a 5% de cobre, con un contenido de oro de 0,1 a 3 gramos por tonelada (partes por millón). Estos cuerpos de mineral tienden a expresarse como láminas de brecha similares a conos, como mantos dentro de los márgenes graníticos, o como brechas largas como cintas o depósitos masivos de óxido de hierro dentro de fallas o cizallas. El gran tamaño, la metalurgia relativamente simple y el grado relativamente alto de los depósitos de IOCG pueden producir minas extremadamente rentables.

#### **1.9.1.1. CLASIFICACIÓN DE DEPOSITOS DE IOCG**

Los depósitos de IOCG se consideran expresiones metasomáticas de eventos de alteración de gran escala de la corteza que se deben a la actividad intrusiva. El tipo de depósito se reconoció por primera vez, aunque no se nombró como IOCG, mediante el descubrimiento y estudio del supergigante depósito de cobre, oro y uranio de Olympic Dam (**Figura 1.6**), y ejemplos de América del Sur .

Se clasifican como separados de otros depósitos de cobre relacionados a intrusivos grandes, tales como depósitos de pórfido de cobre y otros depósitos de pórfidos metálicos principalmente por sus acumulaciones sustanciales de minerales de óxido de hierro, asociación con intrusivos de tipo félsico-intermedio (granitoides ricos en Na-Ca) y falta de la zonación compleja en ensamblajes minerales de alteración comúnmente asociados con depósitos de pórfido.

Tienden a acumularse dentro de las fallas como mineralización epigenética distal a la fuente de intrusión, mientras que los pórfidos son mucho más proximales a los cuerpos intrusivos. Todavía no están relativamente definidos y, como tales, algunos depósitos grandes y pequeños de varios tipos pueden o no caber dentro

de esta clasificación de depósitos. Pueden tener afinidades similares a skarn (por ejemplo, Wilcherry Hill , Cairn Hill), aunque no son estrictamente skarns porque no son metasomatitas en el sentido más estricto.

Pueden expresar una amplia variedad de morfologías de depósito y tipos de alteración que dependen de su estratigrafía del hospedador, los procesos tectónicos que operan en ese momento (por ejemplo, algunas provincias muestran una preferencia por el desarrollo dentro de cizallas y zonas estructurales), etc.

Reconocidos dentro de los regímenes epitermales (estilos de caldera y maar) a través de regímenes dúctiles y frágiles más profundos dentro de la corteza (por ejemplo, Prominent Hill (**Figura 1.7**), algunos ejemplos de Mount Isa, ejemplos brasileños). En los IOCG es común su génesis dentro de los sistemas hidrotermales a escala de la corteza impulsados por magmáticos.

#### **1.9.1.2. GÉNESIS DE DEPOSITOS DE TIPO IOCG**

Los depósitos de IOCG se forman típicamente dentro de "provincias" donde se forman varios depósitos de estilo, tiempo y génesis similares dentro de entornos geológicos similares. La génesis y la procedencia de los depósitos de IOCG, sus ensamblajes de alteración y la mineralogía de ganga pueden variar entre provincias, pero todas están relacionadas con:

- Evento térmico regional importante ampliamente asociado con la formación de IOCG, representado por metamorfismo de grado bajo a medio, y/o intrusiones máficas, y/o granitoides de tipo I o A.
- La estratigrafía del huésped está relativamente enriquecida con Fe (BIF, piedras de hierro), pero tiene un carbono relativamente pequeño (por ejemplo, carbón, etc.).
- Sistemas de alteración a escala regional, que operan a lo largo de decenas o cientos de kilómetros, que involucran la mezcla de al menos dos fluidos.
- Estructuras de corteza a gran escala que permiten una extensa circulación hidrotermal de fluidos mineralizantes.

### 1.9.1.3. MINERALOGÍA Y ALTERACIÓN DE DEPOSITOS DE IOCG

Los minerales en los depósitos de IOCG son típicamente calcopirita, sulfuro de cobre y hierro, y pirita de ganga, que forman el 10-15% de la masa de roca.

Los perfiles supergénicos pueden desarrollarse encima de los ejemplos de depósitos de IOCG, como en el depósito Sossego, en Brasil, donde están presentes los minerales de cobre oxidados típicos, por ejemplo; malaquita, cuprita, cobre nativo y pequeñas cantidades de digenita y calcocita.



**Fig. 1.6.** Espécimen de calcopirita masiva en brechas con hematización fuerte de Olympic Dam. **Fuente:**

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Olympic\\_dam\\_ore\\_cpy.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Olympic_dam_ore_cpy.JPG)

La alteración es una mezcla de estilo sódico-cálcico (albita - epidota) a potásico (K- feldespato), y puede variar de una provincia a otra en función de las rocas del huésped y los procesos de mineralización. Normalmente, para los sistemas hidrotermales a gran escala, los tipos de fluidos dentro de los sistemas IOCG muestran una procedencia mixta de aguas magmáticas, metamórficas y, a menudo, meteóricas. Los depósitos pueden dividirse en zonas verticales a partir de asociaciones de albita-magnetita más profundos que tienden hacia la sílice-K-feldespato-sericita en las partes superiores de los depósitos.

Los minerales de ganga son típicamente una forma de mineral de óxido de hierro, hematita clásica, pero también magnetita dentro de algunos otros ejemplos como Ernest Henry. Esto se asocia típicamente con los sulfuros de pirita, con la pirrotita subordinada y otros sulfuros de metales básicos. Los minerales ganga de silicato incluyen actinolita con apatita y otros minerales de fosfato comunes en algunas provincias de IOCG (por ejemplo en Norteamérica),

y también se forman asociaciones de carbonato y barita, donde están presentes los metales de tierras raras que tienden a asociarse con minerales de fosfato.

Cuando las especies de óxido de hierro tienden hacia la magnetita o la hematita especular (masiva cristalina), los depósitos de IOCG pueden ser económicos basándose solo en su contenido de óxido de hierro. Varios ejemplos de depósitos de IOCG (Wilcherry Hill, Cairn Hill, Kiruna) son depósitos de mineral de hierro.



**Fig. 1.7.** Calcopirita en brecha hematizada de Prominent Hill, **Fuente:** [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prominent\\_hill\\_ore\\_cpy.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prominent_hill_ore_cpy.jpg)

#### **1.9.1.4. EJEMPLOS DE DEPOSITOS TIPO IOCG LOCALES**

**Distrito Marcona, IOCG en el sur de Perú:**

- Mina Marcona 1.400 millones de toneladas de mineral de hierro.
- Pampa de Pongo 1.000 millones de toneladas 75% de magnetita.
- Depósito de cobre y oro Mina Justa.

#### **1.9.2. TEORÍA DEL MUESTREO DE MINERALES**

- **Población o lote**, es el conjunto completo de observaciones que deseamos estudiar.
- **El muestreo estadístico es diferente del muestreo de minerales**, en el muestreo estadístico, el lote o población está compuesto por objetos de igual peso y considera en detalle los caracteres y parámetros de todos los elementos del espacio muestral, mientras que en el muestreo de minerales, el lote está compuesto de objetos de diferentes pesos, en el cual también se debe tomar en cuenta que debemos de considerar parámetros como: representatividad, homogeneidad, proporcionalidad y

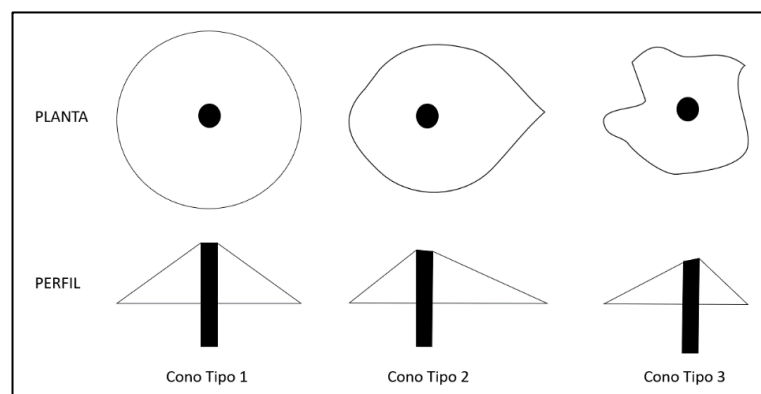
libre de impurezas, para considerar una muestra con los requisitos mínimos para sus conformidad.

- **Cono de detritos de perforación**, es el material acumulado proveniente del pozo perforado con fines principalmente de voladura para fracturar la roca a minar, este material puede ser enorme y un muestreo para el volumen que se quiere representar sería inoperativo, costoso e insostenible, lo que obliga a tomar una muestra (**Figura 1.8**).



**Fig. 1.8.** Cono de detritos de perforación. **Fuente:** Del Autor (2019)

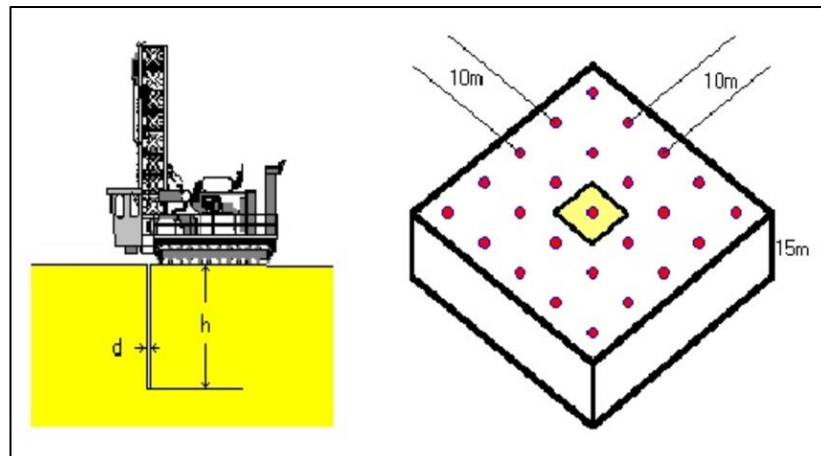
Los conos de detritos pueden dividirse en tres tipos (**Figura 1.9**), dependiendo de las características del terreno donde se perfora (tipo de material, presencia de aguas subterráneas, labores mineras, etc.) y las condiciones con las que se perfora el taladro (agua y velocidad de perforación), todo esto genera conos tipo 1 (regulares, ideales para la representatividad del muestreo), conos tipo 2 (poco regulares) y conos tipo 3 (irregulares).



**Fig. 1.9.** Tipos de conos de detritos de taladros para voladura. **Fuente:** Del Autor (2019)

- **Importancia del muestreo de minerales**, casi todas las decisiones que se hacen en un proyecto minero están basadas en valores obtenidos del material muestreado y significan millones de dólares. Por ejemplo, en los pozos de voladura, donde el material acumulado (detritus de perforación) puede ser enorme, lo que obliga a tomar una muestra. Imaginemos que este depósito minero tiene materiales con densidad de  $2.5 \text{ ton/m}^3$  en una malla de perforación de  $10\text{m} \times 10\text{m}$ , con altura de banco de  $15 \text{ m.}$ , con diámetro de perforación igual a  $25 \text{ cm.}$  (**Figura 1.10**), la cantidad de material acumulado, en toneladas, es:

$$Tons = \pi d^2 h \delta / 4 = 3.14 * 0.25^2 * 15 * 2.5 / 4 = 1.8 \text{ toneladas}$$



**Fig. 1.10.** Componentes de un pozo y malla de voladura. **Fuente:** Alfaro (2002)

Tratemos de encontrar ahora el valor económico que representa una decisión basada en una muestra de un pozo, para ello calculemos el tonelaje que representa una muestra, asumiendo un área de influencia igual a la malla de perforación, expresando el tonelaje en libras (se utiliza un factor de 2.204):

$$\begin{aligned} \text{Tonelaje} &= 10 * 10 * 15 * 2.5 = 3,750 \text{ toneladas} \\ &= 3,750 * 2,204 = 8,265,000 \text{ libras} \end{aligned}$$

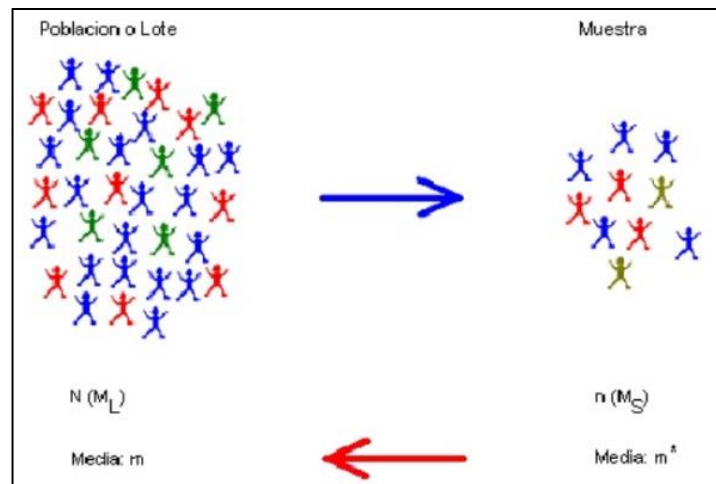
En el caso de un depósito de cobre de 1% de CuT (con un precio de 2.62 US\$/libra), el valor de decisión es de US\$ 216,543.

El valor de decisión depende del precio de los metales, pero a menudo es ¡mucho más de lo que se piensa!

En una mina a cielo abierto, la ley de un pozo de voladura es fundamental para la planificación de corto plazo, este valor decide, de una u otra manera, el destino de los materiales (planta, stock o botadero).

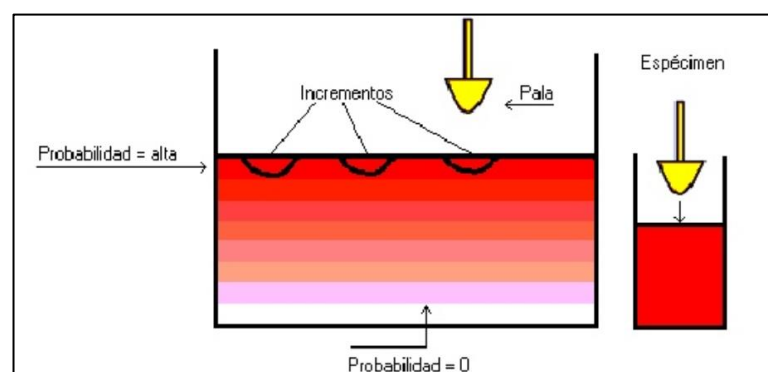


- **Problema principal del muestreo**, estimar la media de una población (con  $N$  elementos) o lote (de tamaño  $M_L$ ) a partir de una muestra (de tamaño  $n$  o  $M_S$ ) (**Figura 1.11**), en general el muestreo exhaustivo, es decir tomar los  $N$  datos o la masa total  $M_L$  (llamado a veces censo) es muy difícil y de alto costo.



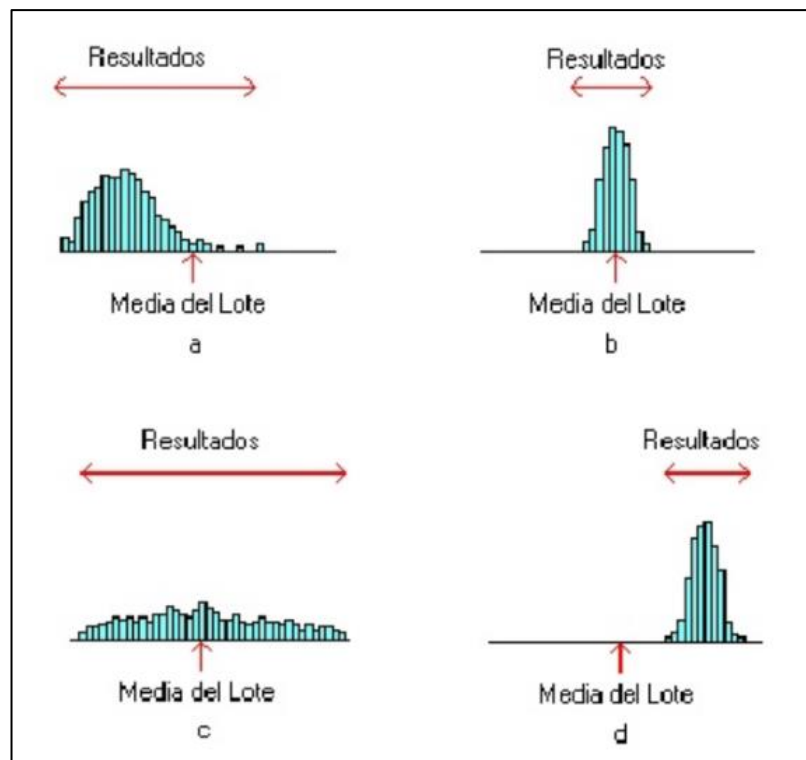
**Fig. 1.11.** Problema principal del muestreo. **Fuente:** Alfaro (2002)

- **El muestreo debe de ser equiprobable**, en el caso de los minerales: el muestreo de un lote  $M_L$  compuesto de  $N$  fragmentos es equiprobable cuando todas las combinaciones de  $n$  fragmentos tienen la misma probabilidad de ser elegidos para la constitución de la muestra ( $M_S$  es la muestra con  $n$  fragmentos). Según Pierre Gy\*, creador de la teoría moderna del muestreo de minerales, cuando la condición de equiprobabilidad no se cumple, se tiene más bien un “especimen” (un ejemplar) en vez de una muestra. La **Figura 1.12** muestra un ejemplo de espécimen, donde las extracciones se basan en la hipótesis no realista y peligrosa de homogeneidad.



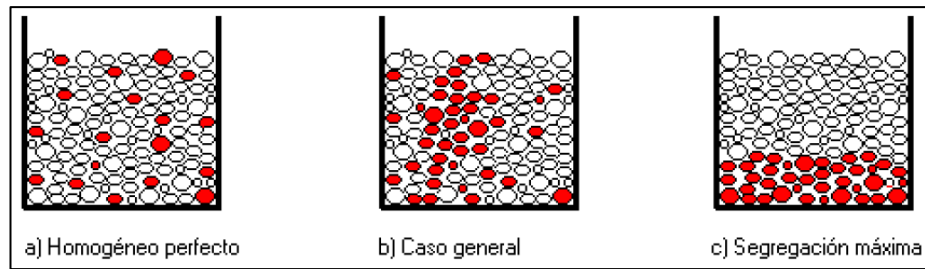
**Fig. 1.12.** Muestreo de un espécimen. **Fuente:** Alfaro (2002)

- **Consideraciones para obtener muestras representativas**, resulta difícil proporcionar recomendaciones prácticas generales acerca del muestreo de minerales, debido a que esta operación se realiza en todas las etapas de un proyecto minero y a que no existen dos minas iguales entre sí. El punto fundamental es siempre (para no tener sesgos) y resultados reproducibles: muestras representativas, es decir equiprobables y de varianza pequeña (**Figura 1.13**).



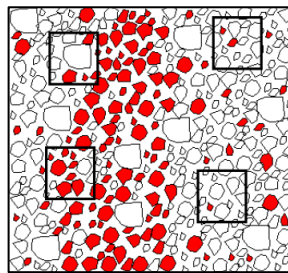
**Fig. 1.13.** Esquema de una muestra representativa, según el sesgo y la varianza: Recordar que insesgado  $\Leftrightarrow$  exacto, varianza pequeña  $\Leftrightarrow$  preciso. a) Sesgado, varianza grande. b) Insesgado, varianza pequeña. c) Insesgado, varianza grande y d) Sesgado, varianza pequeña. **Fuente:** Alfaro (2002)

- **La segregación**, las partículas de mineral tienden a segregarse (**Figura 1.14**), por ejemplo las más pesadas tienen una tendencia a localizarse en el fondo. El caso homogéneo es muy difícil de encontrar en la práctica (algunos autores afirman que este caso es inexistente). Sin embargo, el fenómeno de segregación es más complejo y depende además de las granulometrías, formas y pesos de las partículas.



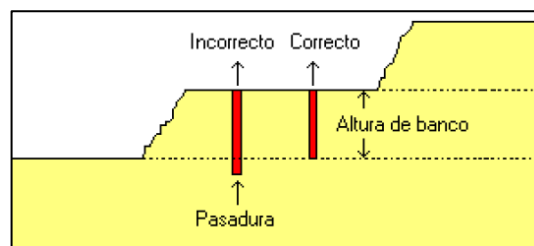
**Fig. 1.14.** Tipos de segregación. **Fuente:** Alfaro (2002)

Una receta para disminuir el efecto de la segregación en la forma de la muestra es realizar varios incrementos, es decir tomar un cierto número de submuestras para constituir una muestra primaria (**Figura 1.15**).



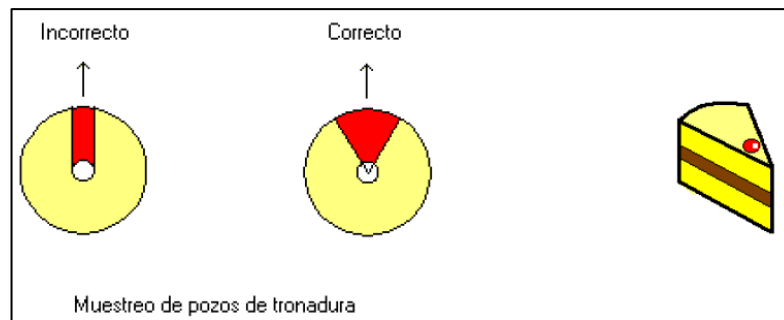
**Fig. 1.15.** Incrementos para constituir una sola muestra y disminuir el efecto de segregación. **Fuente:** Alfaro (2002)

- **La delimitación de la muestra**, íntimamente relacionada con la representatividad de esta, es importante que la delimitación sea correcta:
  - En una mina a cielo abierto, la muestra de un pozo de voladura debe ser representativo del banco y no debería considerarse la pasadura, lo anterior, dependiendo del método, ocasiona problemas operacionales, debido a que habría que detener la perforación del hoyo y/o cubrir el cono de detritus con una lona o plástico (**Figura 1.16**).



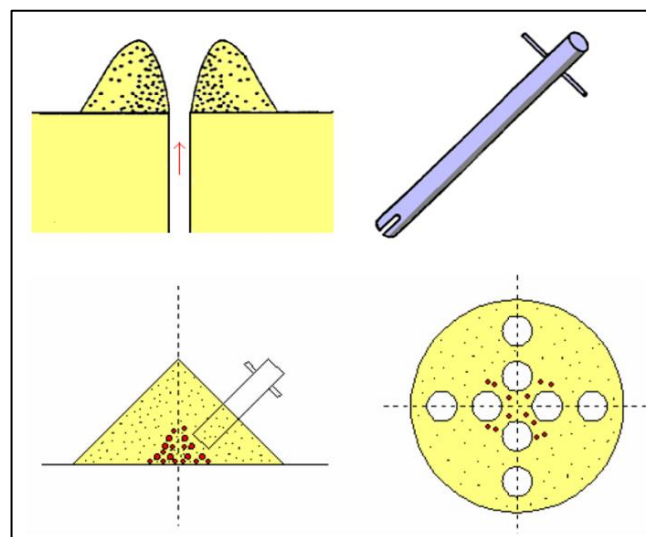
**Fig. 1.16.** Muestra representativa del "banco". **Fuente:** Alfaro (2002)

- Si se utiliza un captador de polvo de perforación, éste debe ser radial, de esta manera se respeta la proporción de finos/gruesos en la muestra (**Figura 1.17**).



**Fig. 1.17.** Captador radial, por ejemplo en una torta, un corte radial garantiza una repartición equitativa de las “guindas”. **Fuente:** Alfaro (2002)

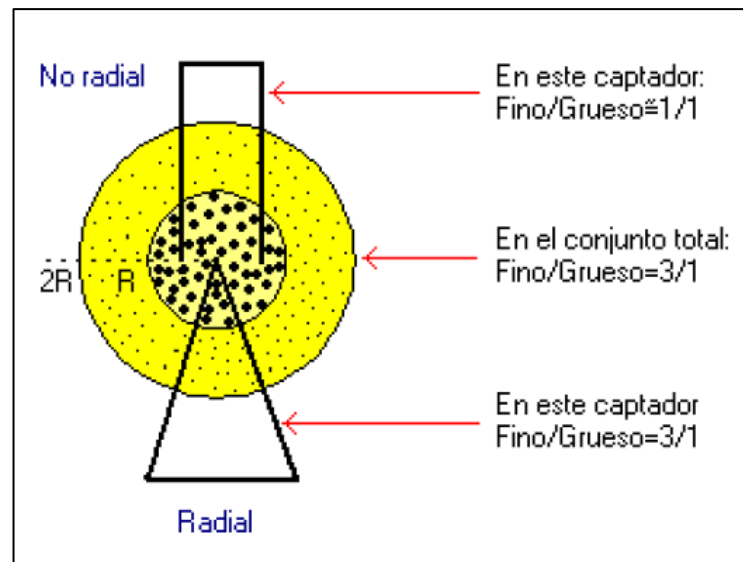
- **El muestreo de pozos de voladura**, en la **Figura 1.18** aparece un esquema de un pozo de voladura y uno de los métodos para tomar una muestra del “cono”: el tubo muestreador.



**Fig. 1.18.** Pozo de voladura, tubo muestreador y forma de tomar la muestra e incrementos con el tubo. **Fuente:** Alfaro (2002)

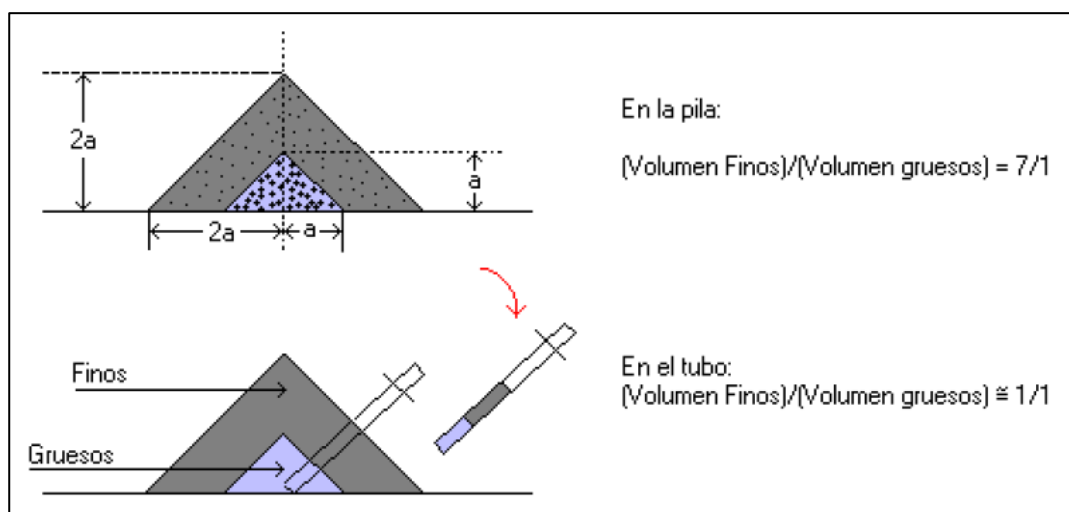
En la **Figura 1.19**, se demuestra con un ejemplo hipotético que si se utiliza un captador de detritos, su diseño debe ser radial. Un corte en el cono proporciona un círculo de radio  $2r$ .

Si suponemos, por ejemplo, que los gruesos están en un círculo concéntrico de radio  $r$  y los finos en el exterior, entonces la proporción real de finos/gruesos es de 3:1. En este ejemplo, un captador rectangular entrega una proporción de finos/gruesos de aproximadamente 1:1.



**Fig. 1.19.** Comparación entre captador radial y no radial. **Fuente:** Alfaro (2002)

En la **Figura 1.20**, se demuestra con un ejemplo hipotético que el tubo de muestreo no es equiprobable. Asumiendo un ángulo de reposo de 45 grados, se tiene una proporción real de finos/gruesos de 7:1, mientras que el tubo entrega una proporción de aproximadamente 1:1.

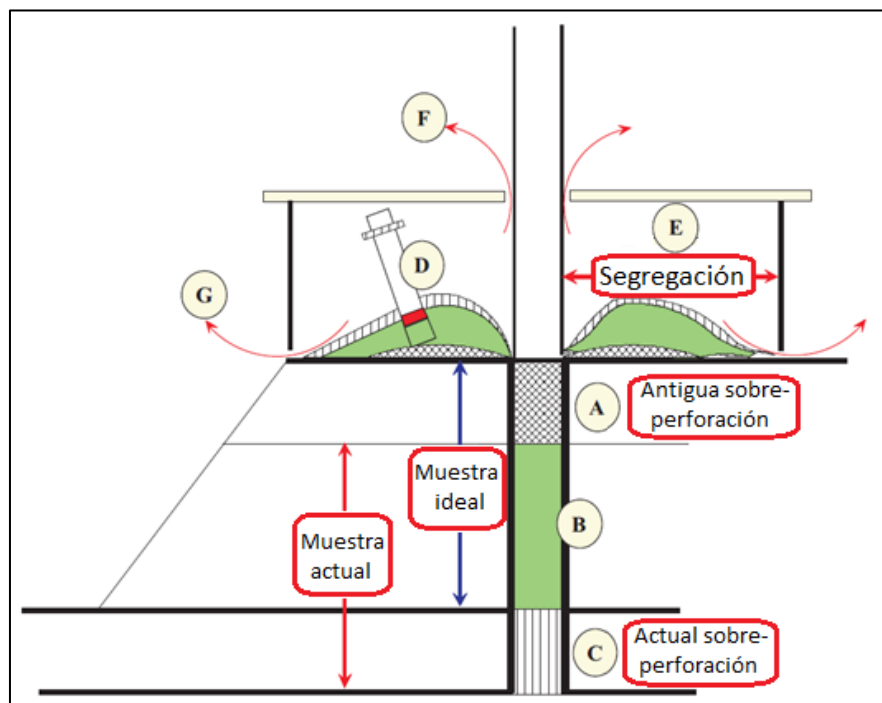


**Fig. 1.20.** Esquema para probar que el tubo no es equiprobable. **Fuente:** Alfaro (2002)

Se concluye entonces que uno de los mejores métodos prácticos debería ser un captador radial. Sin embargo esta solución es muy difícil de implementar en minas grandes, debido a la gran cantidad de material que cae en el captador. Por esta razón, en minas grandes, se utiliza aún el método del tubo muestreador.

### 1.9.3. PROBLEMAS CON EL MUESTREO DE POZOS PARA VOLADURA

- **La necesidad de la sobreperforación,** La sobreperforación, como se ilustra en la **Figura 1.21 A y C**, es una necesidad logística para que el minero dispare debajo del banco real para preparar un acceso sin problemas para el equipo minero, como palas, camiones y personal de manejo. La mayor parte del material volado dentro de la sobreperforación permanece donde está, in situ, aunque parte de él se mueve con bulldozers y niveladoras, y parte de él encuentra su camino hacia la planta o los botaderos.

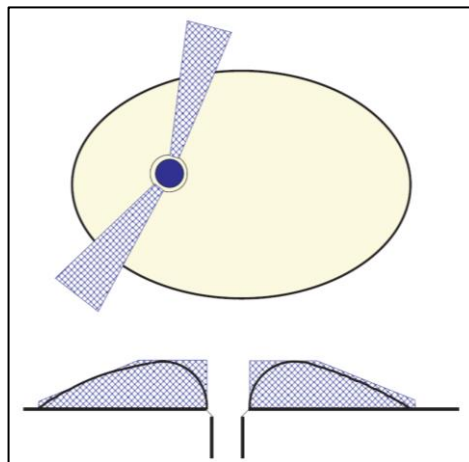


**Fig. 1.21.** Problemas de muestreo de taladros para voladura resumidos.

**Fuente:** Pitard (2008)

- **Material de perforación en la parte superior del cono,** el mayor problema con el material de la sobreperforación es que se encuentra en el peor lugar posible, en la parte superior del cono de taladros de voladura donde es fácil para el operador recolectar el material como una muestra. El autor visitó muchas minas donde se incluyó la sobreperforación en la muestra, y no debería ser así. Una ilustración de este problema se muestra en la **Figura 1.21**, áreas **C y D**. El autor incluso observó algunos casos en los que la muestra que iba al área de preparación de muestras se realizó solo con la sobreperforación, especialmente cuando los operadores no saben que son observados desde una distancia larga.

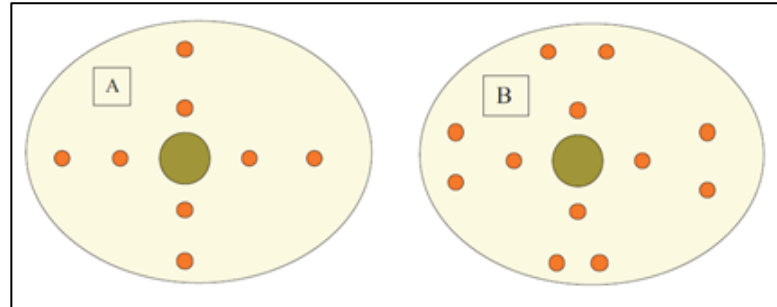
- **Recuperación de la antigua sobreperforación**, el área de la antigua sobreperforación ya está rota al perforar un banco nuevo. Durante esa fase, es fácil observar que la recuperación de los detritos en el cono de taladros de voladura es prácticamente nula, como se ilustra en la **Figura 1.21**, área **A**. La experiencia demuestra que una recuperación tan inaceptable en realidad puede durar de tres a cuatro metros.
- **Cono segregado lateralmente**, debido a muchos factores como el tamaño, la densidad y la forma de fragmentos, viento, velocidad de rotación de la varilla de perforación, y aire comprimido, se puede observar una enorme segregación lateral en el cono de taladros de voladura. Como resultado no sería aconsejable recoger todos los incrementos a una misma distancia del centro de perforación, como muchas personas lo hacen. Una buena manera de dar cuenta de tal segregación es mediante el uso de un cubo radial correctamente diseñado y posicionado al azar alrededor del agujero, como se ilustra en la **Figura 1.22**; sus bordes deben ser radiales hacia el centro de perforación.



**Fig. 1.22.** Correcto diseño y posicionamiento de un cubo radial. **Fuente:** Pitard (2008)

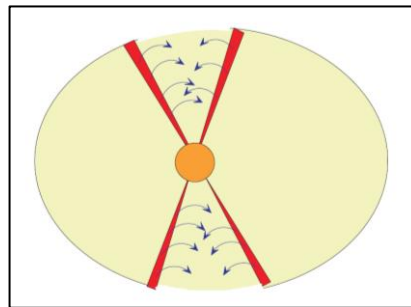
El problema con el cubo radial surge cuando el espesor del banco es grueso (por ejemplo, 15 m.) y el orificio es de gran diámetro. En ese caso hasta dos o incluso tres toneladas de material se encuentran en el suelo. Ya que la pequeña abertura del cubo radial debe ser por lo menos tres veces el tamaño de los fragmentos más gruesos, la muestra radial puede pesar varios cientos de kilogramos, lo que no es práctico en un día de rutina, perforar agujeros con una barrena eléctrica (Auger) puede resolver el problema, siempre que el patrón de agujeros intente simular un corte

radial como ilustrado en la **Figura 1.223(B)**. Un patrón que parece una cruz, como se muestra en la **Figura 1.23(A)**, sería fundamentalmente incorrecto y sería introducir un sesgo de delimitación.



**Fig. 1.23.** Patrones de agujeros de muestreo. (A) Patrón de agujeros que introduce un sesgo de delimitación intolerable; (B) Un mejor patrón de agujeros que simula un corte radial correcto. **Fuente:** Pitard (2008)

Para conos muy grandes creados por gran diámetro de perforación y bancos de minería muy gruesos, una opción que da resultados razonables es el que se ilustra en la **Figura 1.24**.



**Fig. 1.24.** Muestreo de paredes de dos canales transversales. **Fuente:** Pitard (2008)

En general, es muy difícil, si no imposible, tener en cuenta las segregaciones laterales; siendo probable que se produzca un sesgo. Además, las actuales prácticas de muestreo observadas en una gran mayoría de tajos abiertos son una desgracia total en lo que se refiere a este tema, coincidiendo en los siguientes puntos a observar:

- Cono segregado verticalmente.
- Irregularidad de la forma del cono.
- Faldones y pérdidas de finos.
- Muestreo determinista y dependiente del operador.
- Muestreo que interfiere con la productividad minera.
- La automatización del muestreo es un enemigo minero.



- Requisitos de masa de muestra.
- **Tiempo de respuesta:** tiempo de recogida de muestras, tiempo de secado necesario, tiempo necesario de preparación de la muestra, tiempo necesario de ensayo, tiempo de interpretación geológica y geoestadística. La conclusión es que las muestras de taladros de voladura no pueden proporcionar Información relevante de calidad para el ingeniero de minas en menos de 36 horas.
- **Taladros de voladura verticales**, la perforación de taladros de voladura es necesariamente vertical por la necesidad de logística de la voladura. Pero, a menudo, la mineralización es subvertical u horizontal. En el primer caso, se crean ilusiones de zonas de alta y baja ley que son completamente incompatibles con el tamaño del equipo de minería. En el segundo caso, es probable que se produzca una clasificación errónea masiva, ya que la segunda mitad del banco representa al menos del 60 al 70 por ciento del cono de taladros de voladura. Es importante tener en cuenta que este problema no tiene solución, pero es devastador.
- **Clasificación errónea masiva de mineral y desmonte**, la clasificación errónea de mineral/desmonte generada por el muestreo de taladros de voladura es mucho más grave de lo que el ingeniero de minas está dispuesto a reconocer. Como resultado, la reconciliación entre las predicciones de taladros de voladura y lo que el molino eventualmente puede obtener es un sueño poco realista. La idiosincrasia del muestreo de taladros de voladura es tan compleja que los aspectos económicos que justifican el muestreo de taladros de voladura versus la perforación de circulación inversa para el control de mineral siempre están sesgados de manera ingenua hacia el muestreo de taladros de voladura. Dicha economía, la mayoría de las veces, pierde al menos el 90 por ciento de los puntos relevantes.
- **Ausencia de información valiosa del banco inferior al banco minado real**, las buenas geoestadísticas requieren información de arriba y debajo del banco minado real si se van a usar técnicas confiables de kriging. El muestreo de taladros de voladura no puede proporcionar información tan importante, por lo tanto, cualquier técnica de kriging o promediado posterior es necesariamente débil.

- **Las pocas ventajas del muestreo en taladros de voladura**, el muestreo en taladros de voladura tiene algunas ventajas, sin embargo, sin duda son superadas por las muchas desventajas devastadoras. En algunos casos, estas ventajas son altamente cuestionables:
  - Una técnica de perforación para taladros de voladura y para control de mineral.
  - Pequeño costo visible.
  - Buena interpolación lateral.
  - Menos tráfico en el tajo abierto.

#### 1.9.4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

La norma ASTM D 422 - 63 (Asociación Americana de Ensayo de Materiales), describe este método de prueba, que cubre la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas en la muestra. La distribución de tamaños de partículas mayores a 75  $\mu\text{m}$  (retenidos en el tamiz No. 200) se determina por tamizado, mientras que la distribución de tamaños de partículas menores a 75  $\mu\text{m}$  se determina mediante un proceso de sedimentación, utilizando un hidrómetro para asegurar los datos necesarios. En el tamiz utilizado (**Tabla 2.2**), el tamaño se indicará en el informe (ASTM, 1998).

N° Malla ASTM	Abertura ( $\mu\text{m}$ )
1/2	12500
3/8	9500
1/4	6300
6	3350
8	2360
12	1700
16	1180
20	850
30	600
40	425
50	300
70	212
100	150
140	106
200	75
270	53
325	45
400	38

**Tabla 1.2.** Aberturas de las mallas según la norma ASTM D-422.  
Fuente: Laboratorio de SGS en la mina Justa (2019)

### 1.9.5. GLOSARIO DE TERMINOS

**Auger:** Aparato manual de perforación rotatoria que utiliza mecanismo de tornillo para penetrar, romper y llevar a superficie el material que ha sido perforado. Frecuentemente utilizado en la exploración de carbón.

**Banco:** Subnivel de corte horizontal, de entre 6 m a 15 m de altura, donde se realiza el minado a tajo abierto.

**Blasthole:** Pozos para voladura.

**Botadero:** Acumulación de material estéril o de desmonte.

**Chancadora (primaria, secundaria y terciaria):** Máquina que se utiliza para chancar el material extraído de la mina y reducir su tamaño.

**Cobre:** Metal rojo muy maleable y dúctil que es un buen conductor de la electricidad.

**Concentración:** El proceso por el cual el mineral se separa en concentrados de metal y material de desecho a través de procesos como el chancado, la molienda y la flotación. Los concentrados se envían a una fundición.

**Concentradora:** Las instalaciones en las que se procesa el mineral para separar los minerales de la roca madre.

**Concentrados de cobre:** Pulpa espesa producto de la concentradora en la etapa de flotación que contiene usualmente 20 a 30% de cobre dependiendo de la mineralogía de la mina explotada, además se encuentra una mezcla de fierro y una serie de sales de otros metales.

**Conminución:** Procesos mecánicos a través del cual se produce una reducción de tamaño de las partículas de rocas, de minerales, mediante trituración y/o molienda con el fin de liberar las especies diseminadas, facilitar el manejo de los sólidos y obtener un material de tamaño apropiado y controlado.

**Contaminación:** Es la transferencia involuntaria de material de muestra o del medio circundante a otra muestra.

**Cuarteador:** Herramienta para separar la muestra en cuatro partes iguales.

**Cuarteo:** Proceso mecánico donde se reduce el volumen de la muestra, generando varios segmentos o porciones de muestras representativas.

**Depósito:** Es un cuerpo de mineral delimitado físicamente gracias a la perforación diamantina, con suficiente ley como para proceder con la exploración y posterior desarrollo.

**Desbroce:** Es el minado de las rocas que cubren al depósito de mineral con interés de extracción.

**Detritos:** Son las partículas de rocas obtenidas y acumuladas en superficie, formando un cono, tras la perforación de pozos para voladura.

**Dilución:** Proceso inherente a la extracción del mineral de interés, por el cual siempre el desmonte es llevado junto al mineral, disminuyéndose la ley del mineral, diluyéndose la ley en otras palabras.

**Ensaye:** Prueba química realizada en una muestra de minerales para determinar la cantidad de metales valiosos contenidos.

**Estéril:** Roca o material que prácticamente no contiene minerales de valor recuperables, que acompañan a los minerales de valor y que es necesario remover durante la operación minera para extraer el mineral útil.

**Exactitud:** Proximidad de los resultados a un valor verdadero o aceptado, y se vincula a errores sistemáticos. El concepto de exactitud está indisolublemente vinculado al de valor real. Al determinar la ley de la muestra, nunca se llega a conocer el valor real; sin embargo, es posible preparar estándares en condiciones muy controladas, y establecer el mejor valor (MV) del estándar para cada elemento en particular.

**Exploración:** Conjunto de trabajos complementarios que comprenden la prospección de zonas de interés, el muestreo en diferentes etapas, la perforación diamantina en zonas atractivas de concentración de mineral y otros trabajos con el objetivo de buscar mineral.

**Explotación:** Conjunto de actividades multidisciplinarias que nace con el objetivo de estimar la existencia de reservas económicamente recuperables en un depósito mineral.

**Faldón de perforadora:** Geomembrana recortada y acoplada a la parte inferior de la perforadora, en forma rectangular para mantener acumulados en forma de cono a los detritos y polvo generados por el corte de la broca, que son expulsados pudiendo generar condiciones inseguras y polución.

**Geometalurgia:** Clasificación de los minerales de acuerdo con su comportamiento frente a un proceso metalúrgico definido, favorece la optimización de los procesos metalúrgicos, pudiendo llegar a ser un factor importante que considerar en la evaluación de yacimientos.

**Grado de liberación:** Cantidad de mineral de interés que puede quedar libre de material estéril cuando se realice una determinada reducción de tamaño.

**Homogeneizado:** Proceso mecánico realizado después de un proceso de conminución, para obtener una muestra con un alto grado de probabilidad en representatividad.

**Ley:** Es el porcentaje del contenido de algún metal de interés económico dentro del mineral a explotar.

**Ley de corte (*cut off*):** Es la ley mínima para considerar con valor económico para las reservas de mineral de algún depósito mineral.

**Lixiviación:** Proceso químico mediante el cual un compuesto metálico soluble de interés económico es separado del mineral que lo contiene, a través de la disolución de los metales en un solvente.

**Logueo:** Descripción litológica previo lavado, tamizado y secado de los detritos acumulados en superficie tras la perforación de pozos para voladura.

**Malla:** Se refiere al tamaño de abertura de un tamiz, expresado en pulgadas, micrones o milímetros.

**Malla de muestreo:** Es la distribución homogénea, areal o espacial, de puntos para la toma de muestras de roca, suelos o materiales terrestre.

**Malla de perforación para voladura:** Es el diseño óptimo efectuado por los ingenieros para practicar la voladura de minerales o rocas.

**Micra:** Unidad de longitud, equivalente a una milésima de milímetro (0,001 mm).

**Mina de tajo abierto:** Toda aquella mina en la que sus actividades de movimiento de material se realizan en la superficie, llamado también a cielo abierto.

**Mineral:** Una sustancia homogénea que ocurre naturalmente y tiene propiedades físicas y composición química definidas y que, si se forma en condiciones favorables, tiene una forma de cristal definida.

**Mineralización:** Es aquel proceso en donde los minerales son adheridos a la roca, por procesos diversos generando yacimientos minerales.

**Modelo:** Es un intento de mostrar la realidad de algún fenómeno estudiado, teniendo siempre la dificultad de representar este con muestras que no siempre son lo suficiente como soporte sustentable.

**Muestra:** Es una parte o porción de un todo, con el objetivo mostrarnos sus propiedades y/o composición para entender este.

**Muestreo:** Es la obtención selectiva de una muestra representativa para el análisis que nos brinde la mejor información del fenómeno estudiado.

**Óxido:** Material que sufrió la oxidación de sus componentes, en las partes más someras como resultado de la erosión propia del ambiente.

**Perforación de “blasthole”:** Son perforaciones de extensión corta (6 a 20 m.) en una malla de voladura, así mismo, se utiliza como punto de extracción de muestras para el respectivo análisis químico.

**Perforación diamantina:** Llamada también sondaje, es la perforación de diferentes rocas que corta una muestras de esta en secciones cilíndricas para el análisis y generación de modelos de depósitos minerales.

**Perforadora Epiroc – PV 271:** Equipo de perforación rotativa con tricono y con martillo en fondo de barrenos de diámetros entre 171 mm a 270 mm, puede perforar hasta 16,2 m de profundidad.

**Plan minero:** Es el prediseño de la distribución detallada, principales carreteras y vías, y frentes de trabajo de una mina o un grupo de minas.

**Planta de procesamiento de minerales:** Instalación industrial o semi industrial en la cual un mineral es tratado para la recuperación de los metales o compuestos de interés mediante una secuencia de operaciones o procesos unitarios, y que utiliza algún tipo de energía (eléctrica, mecánica, hidráulica o térmica) para la operación de los equipos o máquinas.

**Precisión:** Es la habilidad de reproducir consistentemente una medición en condiciones similares.

**Producción minera:** Fase de ciclo minero que tiene como objetivo la extracción, la preparación o el beneficio, el transporte y la comercialización del mineral. Es la fase de mayor duración, generalmente

entre 10 y 30 años, y depende del nivel de reservas, tipo de explotación y condiciones de la contratación.

**Productividad:** Relación entre lo producido y los medios empleados, tales como mano de obra, materiales, energía, maquinaria, entre otros.

**Pulpa:** Mezcla de mineral molido o pulverizado con agua o una solución acuosa.

**P80:** Tamaño de tamiz que deja pasar el 80% de las partículas del producto del circuito.

**Recuperación:** Es la cantidad porcentual de algún metal de interés económico dentro de algún mineral que se recupera a través de un tratamiento geometalúrgico sugerido.

**Relaves:** Desechos generados en la molienda después de recuperar los minerales de valor económico.

**Repetitividad:** Precisión bajo condiciones en las que los resultados de una medición se obtienen con el mismo método, mismo operador, mismo instrumento de medida y durante un corto intervalo de tiempo.

**Reproducibilidad:** Precisión bajo condiciones en las que los resultados de una medición se obtienen con el mismo método, sobre el mismo mensurando, con diferentes operadores, diferentes equipos de medida, en diferentes laboratorios, etc.

**Robustez:** Resistencia de un método al cambio de respuesta cuando se introducen pequeñas variaciones en el procedimiento.

**Sesgo:** Diferencia entre la esperanza matemática de los resultados de una medición y el valor de referencia aceptado, es un control cualitativo.

**Tajo abierto (*open pit*):** Sistema de explotación caracterizado por el uso de bancos o cortes escalonados, aplicado, generalmente, a la extracción de depósitos en vetas localizadas cerca de la superficie y de gran magnitud, que tiene una capa de material estéril de mediana importancia.

**Taladro:** Hueco ejecutado con barrenos de acuerdo con la malla de voladura de rocas.

**Tamiz:** Es una superficie perforada que permite efectuar la separación por tamaños de partículas sólidas.

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS**

#### **2.1. FORMULACIÓN DE LAS HIPÓTESIS**

##### **2.1.1. GENERAL**

El método de muestreo que utiliza el Auger, la inserción aleatoria estratigráfica de muestras para el control y aseguramiento de la calidad y un control de envío de mineral selectivo pueden lograr mayor confiabilidad en la representatividad del mineral, disminuyendo la dilución y pérdidas económicas.

##### **2.1.2. ESPECÍFICAS**

- Debe existir relación entre el método de muestreo y la proporción granulométrica de muestra obtenida, que afectan las leyes resultado de los análisis y se agudiza considerando el tonelaje a minar.
- El mejor procedimiento de inserción de muestras para el aseguramiento y control de la calidad será el aleatorio estratificado considerando la cantidad de muestras y contenido de mineral de cada lote de envío.

#### **2.2. DEFINICIÓN DE VARIABLES**

##### **2.2.1. INDEPENDIENTES**

- Masa retenida por tamiz en gramos(g)
- Ley de Cobre soluble en ácido (Cu\_AS) en porcentaje (%)

##### **2.2.2. DEPENDIENTES**

- Operatividad del método de muestreo.
- Tipo de cono de detritos formado en cada taladro para voladura.



### **2.3. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA DEMOSTRAR LAS HIPÓTESIS**

La propuesta metodológica para el presente trabajo tuvo las siguientes etapas:

- Gabinete de Pre-Campo:
  - Recopilación y análisis de la información.
  - Ubicación del área de perforación.
  - Diseño de muestreo
- Campo:
  - Perforación de taladros.
  - Toma de muestras con los métodos de muestreo a evaluar.
  - Homogenización y cuarteo de muestras.
- Gabinete de Post-Campo:
  - Preparación de muestras (codificación inicial).
  - Envío al laboratorio para análisis granulométrico.
- Laboratorio 1:
  - Análisis granulométrico.
  - Reporte del perfil granulométrico.
- Gabinete de Post-Laboratorio 1:
  - Preparación de muestras (codificación final).
  - Inserción de muestras de control de calidad.
  - Envío al laboratorio para análisis químico.
- Laboratorio 2:
  - Análisis químico.
  - Reporte de análisis químico.
- Gabinete de Post-Laboratorio 2:
  - Procesamiento estadístico y análisis de datos.
  - Elaboración, edición, revisión, entrega y sustentación de la Tesis.

Con esta metodología desarrollada se demostró las hipótesis general y específicas, así mismo, se cumplió los objetivos generales y específicos, para finalmente generar las conclusiones y recomendaciones.

## **2.4. ENFOQUE DEL ANÁLISIS**

El presente análisis se realiza con un enfoque de investigación cuantitativo, puesto que los planteamientos a investigar son específicos y delimitados, así mismo las hipótesis fueron planteadas antes de la recolección y análisis de los datos, y finalmente los datos se recolectaron con fundamentos en la medición de estos. Se busca objetividad, sin tendencias o preferencias sobre algunos métodos preferidos o recomendados.

## **2.5. DISEÑO DEL ANÁLISIS**

El diseño utilizado es de tipo no experimental transeccional exploratorio, ya que se basa en los resultados granulométricos y químicos de las muestras obtenidas que no fueron manipuladas, fueron obtenidas en un único momento y servirá para comenzar a conocer fenómenos sobre un problema nuevo.

## **2.6. SELECCIÓN DE LA MUESTRA**

Para seleccionar nuestra muestra dentro del proceso cuantitativo, lo primero que se define es que se trata de una muestra probabilística, ya que todos los elementos de la muestra tienen la misma posibilidad de ser elegidos, así el muestreo se realizará sobre los detritos acumulados en los conos superficiales de los taladros para voladura, teniendo subgrupo de muestreo inicial de cuatro conos, en los cuales se aplicarán siete métodos de muestreo a analizar, además de realizar un muestreo del total de detritos acumulados en cada cono, que después de homogeneizar y cuartear estos, se obtendrán tres muestras por cono que servirán como muestras patrón o estándar para cada cono, luego todas las muestras obtenidas pasarán por un proceso de análisis granulométrico, y finalmente debido a los distintos tamaños de detritos obtendremos 150 muestras que serán enviadas al laboratorio químico, las cuales representarán a nuestro universo de muestreo que en este caso es un bloque de 10x10x12 metros, con el objetivo de analizar que método de muestreo representa mejor a este bloque.

Estas muestras fueron obtenidas en el futuro tajo de la mina Justa, en un sector donde según el modelo de largo plazo tenemos una zona de mineral en la cual se puede realizar el presente análisis.

Es así como las muestras obtenidas tendrán valores muy aproximados a los valores del universo objetivo, considerando que las mediciones de las muestras con los distintos métodos reflejarán estimaciones muy precisas del conjunto mayor (universo), marcando la diferencia para este caso el error de muestreo.

## **2.7. RECOLECCIÓN DE DATOS**

Partiendo en que nuestros datos tienen un enfoque cuantitativo, entenderemos que recolectar los datos es equivalente a medir, lo cual es un proceso de vincular resultados abstractos con indicadores empíricos mediante su cuantificación. A su vez esta recolección de datos debe cubrir los requisitos de confiabilidad y validez, siendo la confiabilidad el grado en que la aplicación repetida de algún instrumento de medición produce resultados iguales y la validez el grado en que algún instrumento mide realmente la variable que pretende medir.

Así para el presente análisis, los datos cuantitativos (análisis granulométricos y químicos) se obtuvieron de la base de datos de las pruebas realizadas para validar el método de muestreo de detritos de los taladros para voladura en la mina Justa, se trata de un total de 25 perfiles granulométricos y 178 análisis químicos, recolectados y procesados entre Diciembre del 2018 y Enero del 2019. Esta base de datos se encuentra en el servidor de la red de Operaciones Mina de la Gerencia de Geología de la mina Justa, junto a sus datos adicionales como coordenadas, pesos de muestras, tiempos de muestreo y metodologías a validar.

Seguido de obtener los datos, se realiza la validación sugerida por los procedimientos de aseguramiento y control de la calidad, dando sustento a los requisitos de confiabilidad y validez necesarios, mediante el análisis de la precisión, exactitud y contaminación. Luego se procesan todos los datos en tablas de Excel para realizar diversos análisis estadísticos de diferencias porcentuales principalmente, que nos permita confirmar o negar las hipótesis que se formularon con el resultado del método más cercano al promedio ponderado.

## **2.8. ALCANCE DEL ANÁLISIS**

Para el presente análisis, se consideran dos tipos de alcances de investigación, basados en los objetivos planteados.

Se inicia con un alcance correlacional ya que ofrecemos predicciones que explican la relación entre las variables de la masa retenida por tamiz y la ley de Cobre soluble en ácido principalmente, así mismo se cuantifican las relaciones entre todas las variables a considerar para lograr el objetivo enfocado en analizar el método de muestreo.

Luego, pasaremos a un alcance descriptivo, para los objetivos enfocados en el análisis de procedimiento del aseguramiento y control de la calidad y del control de envío de mineral, ya que se busca analizar cómo es y cómo se manifiesta un fenómeno, sus causas y sus componentes, midiendo conceptos importantes de estos, buscando especificar las propiedades, características y los perfiles de ambos procesos analizados. Esto nos servirá para poder demostrar con precisión los ángulos o dimensiones de la situación actual de los procedimientos analizados, así como sugerir algunas mejoras en los mismos.

## CAPÍTULO III

### RECOLECCIÓN, ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE DATOS

#### 3.1. ELECCIÓN DE LOS MÉTODOS DE MUESTREO

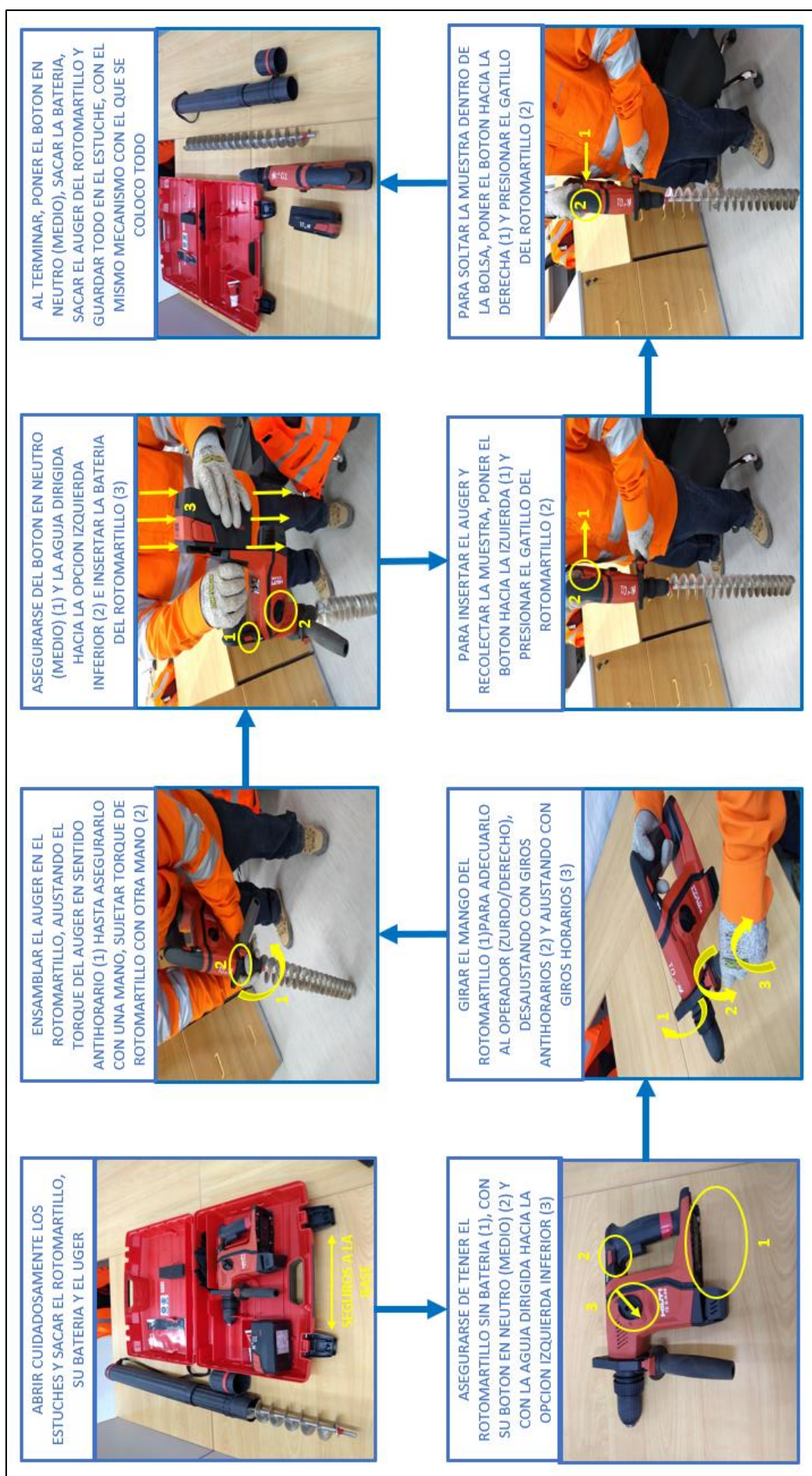
En la mina Justa se utilizará el muestreo lineal en los taladros para voladura a través de detritos del cono acumulado en la parte superficial, siendo esta la única opción de muestreo generada por el tipo de perforación (**Tabla 3.1**) Considerando las herramientas preestablecidas para realizar el muestreo en mina Justa (auger y pala), se procedió a definir los métodos de muestreo a evaluar.

Muestreo por puntos	Muestreo lineal	Muestreo volumétrico
Point o lump sampling	Barrenos (taladros para voladura)	Calicatas
Ranurado discontinuo o chip sampling	Sondeos - Polvo o testigo (drill sampling)	Planar
A partir del material ya extraído o Grab sampling	Canaleta o ranurado	Muck sampling (rocas sueltas, toda la potencia)
		Bulk sampling (decenas de tn - plantas piloto)

**Tabla 3.1.** Métodos de muestreo de minerales. **Fuente:** Del Autor (2019)

##### 3.1.1. MÉTODOS DE MUESTREO UTILIZANDO EL AUGER

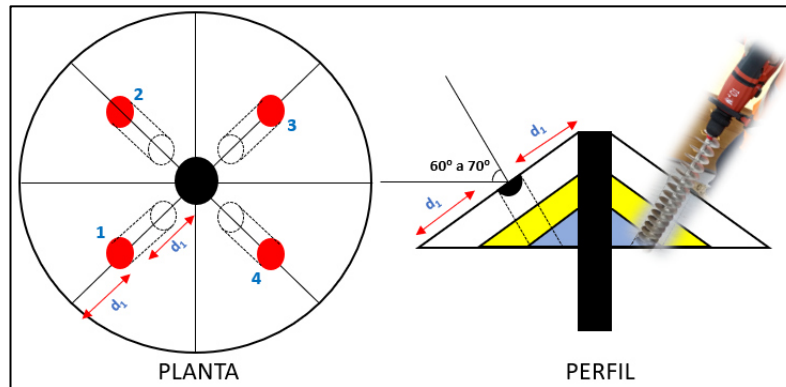
Como se mencionó, el auger es la herramienta manual de perforación rotatoria que utiliza el mecanismo de tornillo para en este caso penetrar y recolectar la muestra, consta de un equipo rotomartillo (genera el giro) a batería y un auger helicoidal (gira y recolecta la muestra), que se ensamblan como se muestra en la **Figura 3.1**. Teniendo la disponibilidad de esta herramienta, se procedió a establecer tres métodos de muestreo, diferenciándose estos por la cantidad de inserciones y por ende el volumen de material a recolectar, surgiendo además desde ya aspectos operativos como el tiempo que demora uno u otro método en recolectar la muestra, el trabajo repetitivo para el muestreador que puede generarle enfermedades ocupacionales, etc. (**Ver Fotografía A3.1**).



**Fig. 3.1.** Flujiograma del uso correcto del rotomartillo y auger. **Fuente:** Del Autor (2019)

### 3.1.1.1. MÉTODO DE MUESTREO DEL AUGER DE VOLUMEN BAJO (AB)

Este método recolecta aproximadamente 10 kg en 3.5 minutos, con 4 inserciones, cada una en la parte central del cuadrante a la cual representa, con un ángulo de inserción de entre  $60^\circ$  a  $70^\circ$  respecto a la horizontal (**Figura 3.2**).

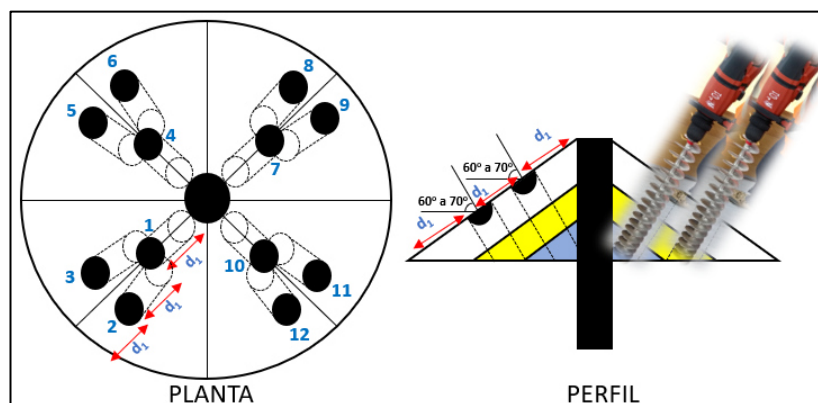


**Fig. 3.2.** Método de muestreo del auger de volumen bajo (AB). **Fuente:** Del Autor (2019)

Este tipo de inserciones busca resolver la segregación existente y la obtención de todas las capas acumuladas en el cono de detritos, de acuerdo a punto donde se realizan las inserciones y la dirección con que se realiza las inserciones, sin embargo como lo menciona Alfaro (2002) existen tendencias de acumulación de detritos gruesos en la parte central del cono y finos en las partes periféricas del mismo, lo cual no se está superando en su totalidad.

### 3.1.1.2. MÉTODO DE MUESTREO DEL AUGER DE VOLUMEN MEDIO (AM)

Considerando las investigaciones de Pitard (2008), se simuló un corte radial (pedazo de torta) en cada cuadrante del cono, con tres inserciones en cada cuadrante (en los vértices del triángulo), recolectando aproximadamente 12.5 kg en 5.5 minutos, manteniéndose las inserciones de entre  $60^\circ$  a  $70^\circ$  (**Figura 3.3**).

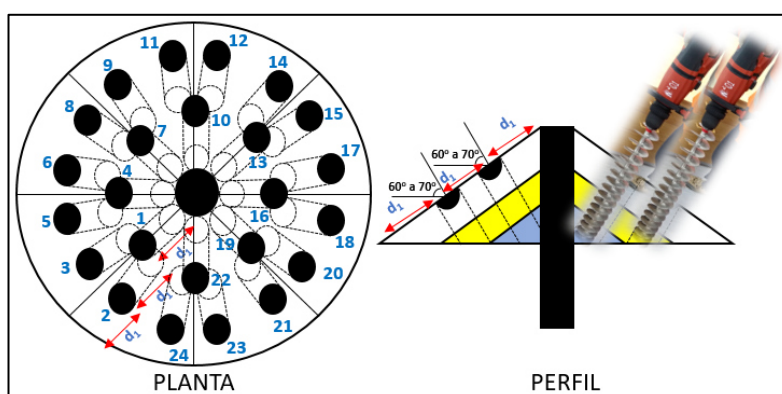


**Fig. 3.3.** Método de muestreo del auger de volumen medio (AM). **Fuente:** Del Autor (2019)

Este tipo de inserciones aparte de buscar resolver la segregación existente y la obtención de todas las capas acumuladas en el cono de detritos, busca también recolectar una cantidad de muestra proporcional al total, intentando superar lo mencionado por Alfaro (2002) respecto a que existen tendencias de acumulación, a su vez también mitiga lo indicado por Pitard (2008) que confirma la naturaleza de los conos formados con segregación lateral debido a muchos factores como el tamaño, la densidad y la forma de fragmentos, viento, velocidad de rotación de la varilla de perforación, y aire comprimido (**Ver Fotografía A3.2**)

### 3.1.1.3. MÉTODO DE MUESTREO DEL AUGER DE VOLUMEN ALTO (AA)

Por aspectos de cantidad de muestra obtenida, se decidió aumentar las inserciones, siguiendo el corte radial con tres inserciones en cada octante (en los vértices del triángulo) teniendo al final 24 inserciones, se recolectó 20,5 kg en 9.5 minutos, manteniéndose las inserciones de entre 60° a 70° (**Figura 3.4**).



**Fig. 3.4.** Método de muestreo del auger de volumen alto (AA). **Fuente:** Del Autor (2019)

Justamente por la cantidad de inserciones que este método utiliza, puede resultar no operativo, por demandar mayor cantidad de tiempo y mayor esfuerzo acumulado para el muestreador. Pero si sería una buena alternativa para los pocos conos que se encuentran secos.

### 3.1.2. MÉTODOS DE MUESTREO UTILIZANDO LA PALA

La pala es una herramienta de mano utilizada para excavar o mover materiales con cohesión relativamente pequeña como los detritos que se acumulan en el cono de los taladros para voladura. Normalmente se utiliza para muestrear los



detritos de los conos que no presentan las características físicas ideales (simetría y humedad de detritos) como se aprecia en la **Figura 3.5**.



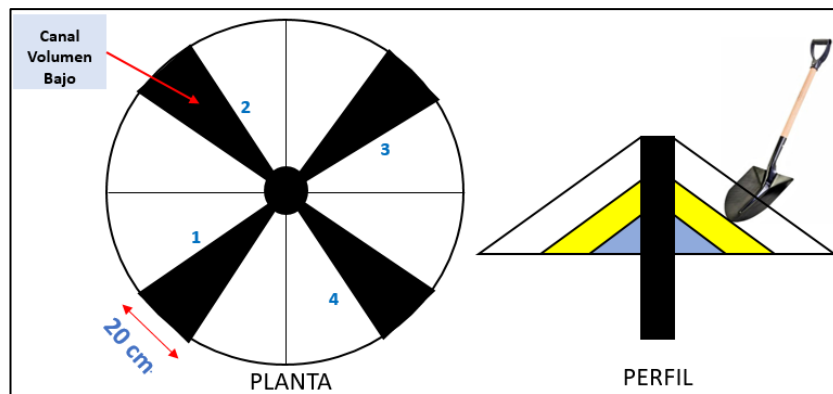
**Fig. 3.5.** Muestreo utilizando la pala. **Fuente:** Del Autor (2019)

El uso de esta herramienta no resulta operativo por los siguientes motivos: tiempo (3 veces más que el auger), recolecta demasiada cantidad de muestras (10 veces más que el auger), esfuerzo y resistencia física por parte del muestreador, pudiendo cumplirse la frase que indica que muchas veces lo barato resulta caro, al tener a largo plazo, enfermedades ocupacionales.

Sin embargo se procedió a establecer tres métodos de muestreo, buscando entre lo inoperativo alguna opción operativa que cumpla los estándares de cantidad de muestra obtenida y en el tiempo ideal, estos métodos se tienen:

#### **3.1.2.1. MÉTODO DE MUESTREO DE CANALES DE VOLUMEN BAJO (CB)**

Considerando las recomendaciones de Alfaro (2002) y de Pitard (2008), que sugieren muestreos a manera de cortes radiales, se decidió analizar este método, recolectando todo el material captado dentro de este canal radial, logrando mayor equiprobabilidad que requiere una muestra representativa, a pesar de que se entiende que se obtendrá mayor cantidad de muestra y en mayor tiempo, lo cual es muchas veces inoperativo. Se trata de cuatro canales radiales, con un ancho inicial de 20 cm. aproximadamente, un canal por cuadrante, recolectando aproximadamente 240 kg en 29 minutos (**Figura 3.6**).

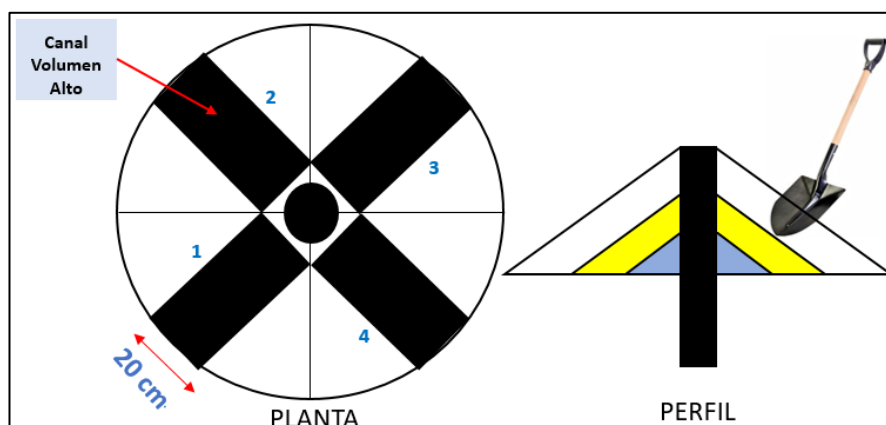


**Fig. 3.6.** Método de muestreo de canales de volumen bajo (CB). **Fuente:** Del Autor (2019)

Teóricamente este método es el ideal, pues recolecta cuatro cortes radiales, como se sugiere, sin embargo, lo que sucede en la práctica en muchas operaciones, es que la cantidad de muestra, el tiempo de muestreo y el trabajo adicional que se generaría en prepararla son inoperativos, quizás si exista alguna operación que tenga avances de minado muy poco agresivos, mayor cantidad de personal y/o quizás se invente un equipo robotizado que muestree, homogenice y cuartee la muestra, podrá utilizar este método.

### 3.1.2.2. *MÉTODO DE MUESTREO DE CANALES DE VOLUMEN ALTO (C)*

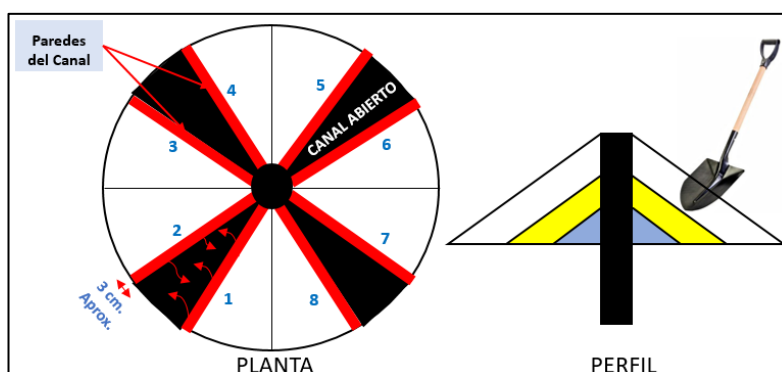
Se decidió simular un captador rectangular con un ancho de 20 cm en cada cuadrante, inicialmente se tiene el punto negativo indicado por Alfaro (2002) el cual asegura que este método no obtiene la proporción de detritos gruesos y finos existente en el cono, lo cual si ocurre en los cortes radiales, pudiendo generar sesgo en las leyes. Al igual que el anterior método obtiene mucha cantidad de muestra y en bastante tiempo, resultando inoperativo, recolectó 280 kg en 26 minutos (**Figura 3.7**).



**Fig. 3.7.** Método de muestreo de canales de volumen alto (C). **Fuente:** Del Autor (2019)

### 3.1.2.3. MÉTODO DE MUESTREO DE PAREDES DE CANALES (P)

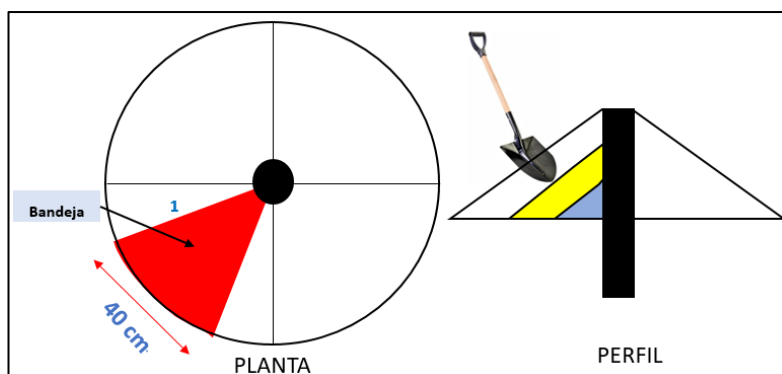
Como alternativa a los dos últimos métodos, se decidió, tras abrir los canales de volumen bajo, realizar el muestreo en las paredes, se obtiene 36 kg de muestra en menor tiempo (10,5 minutos), pudiéndose ajustar estas variables al estándar de la mina Justa (18 a 20 kg) reduciendo el ancho de muestreo en cada pared de canal a aproximadamente 3 cm, y con mayor práctica los tiempos podrían disminuir (**Figura 3.8**).



**Fig. 3.8.** Método de muestreo de paredes de canales (P). **Fuente:** Del Autor (2019)

### 3.1.2.4. MÉTODO DE MUESTREO DE LA BANDEJA (B)

Este método consiste en un captador radial que se coloca debajo de la perforadora al costado del taladro, ubicándolo de manera tal que capte los detritos cortados durante la perforación, considera la proporción finos/gruesos existente en el cono, garantizando la repartición proporcional de detritos en todo el cono (Alfaro, 2002), pero no controla la segregación generada por múltiples factores durante la perforación del taladro (Pitard, 2008). Con un ancho inicial de 40 cm, en un solo cuadrante (previo análisis para escoger el cuadrante mejor formado), recolectó 129 kg en 11 minutos (**Figura 3.9**).



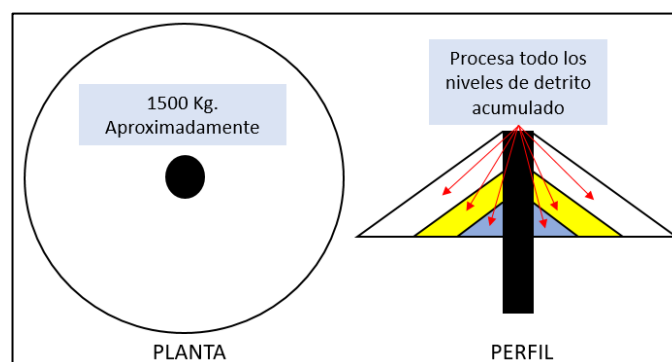
**Fig. 3.9.** Método de muestreo de la bandeja (B). **Fuente:** Del Autor (2019)

A sí mismo, este método no es del todo operativo porque requiere que un personal de muestreo se exponga a cualquier incidente al colocar en cada taladro a perforar, la bandeja debajo de la perforadora, al costado del taladro, dependiendo directamente del avance de la perforadora también, otro aspecto es que la cantidad recolectada es alta, el tiempo real de muestreo es lo que dure cada perforación (**Ver Fotografía A3.4**).

Para este caso, decidimos, usar la pala, para recolectar la muestra que recolectaría una bandeja, sin exponerse a la perforadora, si no después de perforado el taladro y formado el cono cuando la perforadora se retiró del área.

### 3.1.3. MUESTRA ESTÁNDAR O PATRÓN

Una muestra estándar o patrón es aquella cuyos valores son los más representativos posibles debido a que se procesa el total de detritos acumulados (1500 kg aproximadamente, ver **Figura 3.10**), homogenizándolos y cuarteándolos hasta obtener tres muestras, una en el intermedio del proceso y dos al finalizar este, con un peso promedio de 6.5 kg cada muestra.



**Fig. 3.10.** Muestreo del estándar o patrón. **Fuente:** Del Autor (2019)

La importancia de obtener esta muestra estándar o patrón tiene dos aspectos: Uno porque nos servirá para hacer comparaciones y otro porque nos confirma lo difícil (inoperativo) que es intentar estimar la ley de un volumen de terreno (1800 toneladas aproximadamente) con tanto material acumulado (1500 kg) para procesar. El proceso demoró 5 horas, con mucha carga laboral, confirmando la necesidad de lograr estimar una ley media para una población de 1800 toneladas a partir de una muestra de 18 a 20 kg, que luego de ser homogenizada y cuarteada se reducirá hasta tener una muestra final de 4.5 a 6 kg para ser enviada al laboratorio.

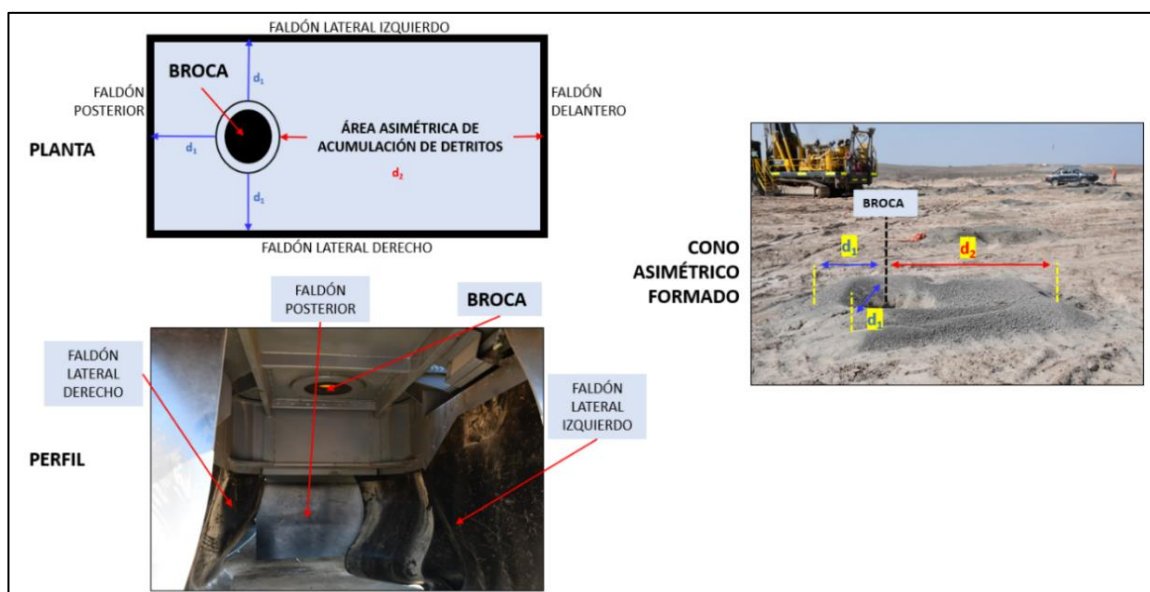
### 3.2. ACONDICIONAMIENTO DE FALDONES DE LAS PERFORADORAS

La geometría del cono que se formará depende de la perforadora, tanto para realizar este análisis como para ejecutar los resultados en lo posterior se requiere obtener en su mayoría conos tipo 1 (regulares), y estos se pueden obtener si aseguramos los siguientes parámetros de perforación: porcentaje promedio de agua de perforación (depende del perforista) y la geometría de los faldones de las perforadoras.

A la mina Justa llegaron dos perforadoras (PV-271) que contaban con faldones externos asimétricos (rectangular) y producto de ello se obtiene conos tipo 2 (poco regulares) o hasta tipo 3 (irregulares), había que realizar un cambio.

#### 3.2.1. FALDONES ASIMÉTRICOS DE LAS PERFORADORAS

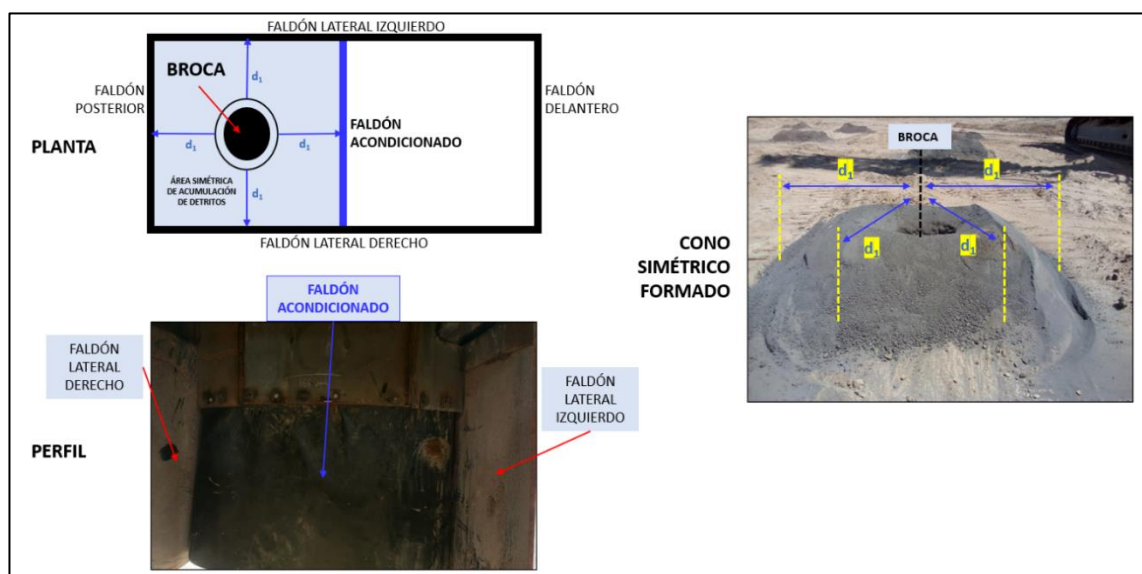
Las perforadoras actualmente son fabricadas con una principal función, la cual es justamente perforar taladros verticales para cargarlos con material de voladura para poder quebrar o fracturar la roca, en ningún momento apuntan a formar un cono simétrico, ya que sus faldones tienen distancias radiales asimétricas respecto al punto donde perforará la broca, específicamente el faldón delantero como se observa en la **Figura 3.11**, producto de ello forman conos asimétricos.



**Fig. 3.11.** Faldones y cono asimétricos. **Fuente:** Del Autor (2019)

### 3.2.2. FALDONES SIMÉTRICOS DE LAS PERFORADORAS

Buscando obtener un cono regular, para poder realizar muestreos equiprobables y de varianza pequeña (Alfaro 2002), se acondicionó un faldón interior que complete la simetría de los faldones laterales y posterior (**Figura 3.12**), el cual reemplazaría en su función al faldón delantero y a su vez lograría una acumulación de detritos en un cono radial. Este acondicionamiento se logró, y los resultados en el tipo de cono formado es evidente, pudiendo aplicar cualquiera de los métodos a implementar en la mina Justa.



**Fig. 3.12.** Acondicionamiento del faldón para formar conos simétricos. **Fuente:** Del Autor (2019)

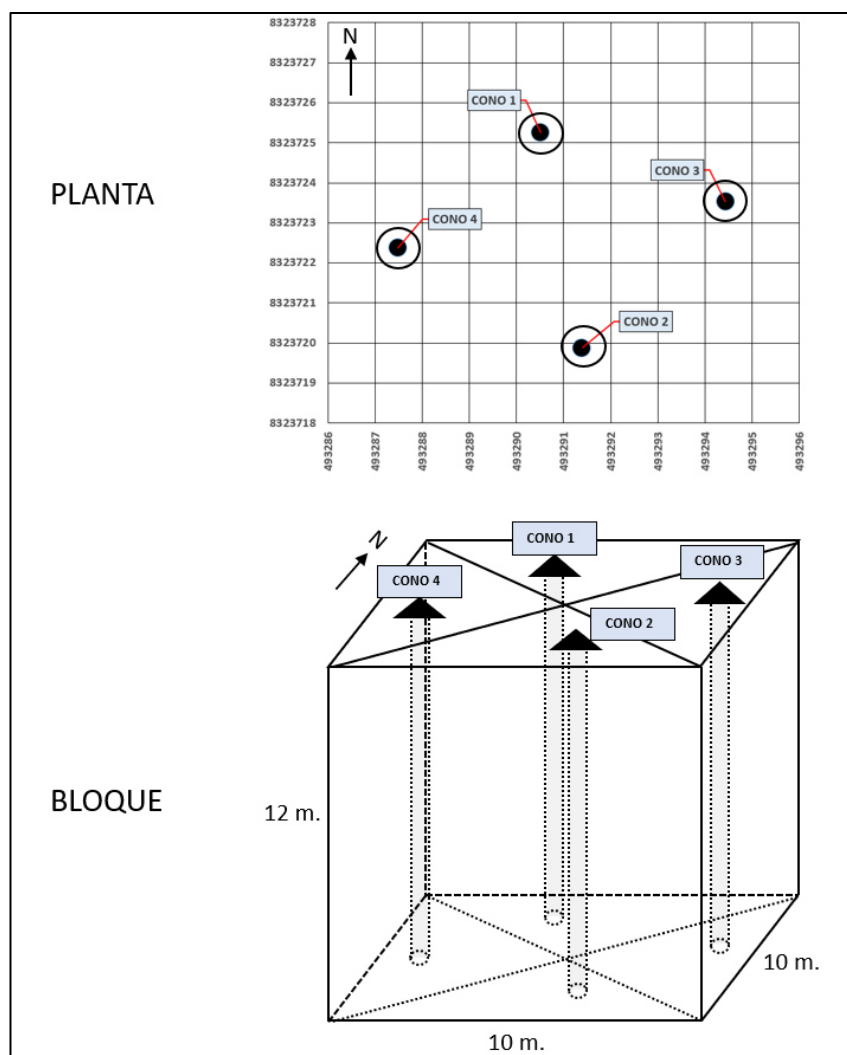
Tras esto, solo tendríamos que monitorear, primero el porcentaje promedio de agua de perforación por taladro, para obtener detritos con la humedad ideal para su muestreo, y a su vez, sugerir constantes chequeos del estado del faldón acondicionado para que este sea reparado si surge un desperfecto o cambiarlo si se desgasta por el uso, lo cual sería normal.

### 3.3. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Con la finalidad de analizar el método de muestreo que mejores resultados de promedio de ley estimada tenga dentro de un bloque de mineral (**Figura A3.2**), limitamos nuestro universo de muestras a obtener dentro de este bloque (**Figura 3.13**), incidiendo en realizar todos los tipos de muestreo dentro de este universo,



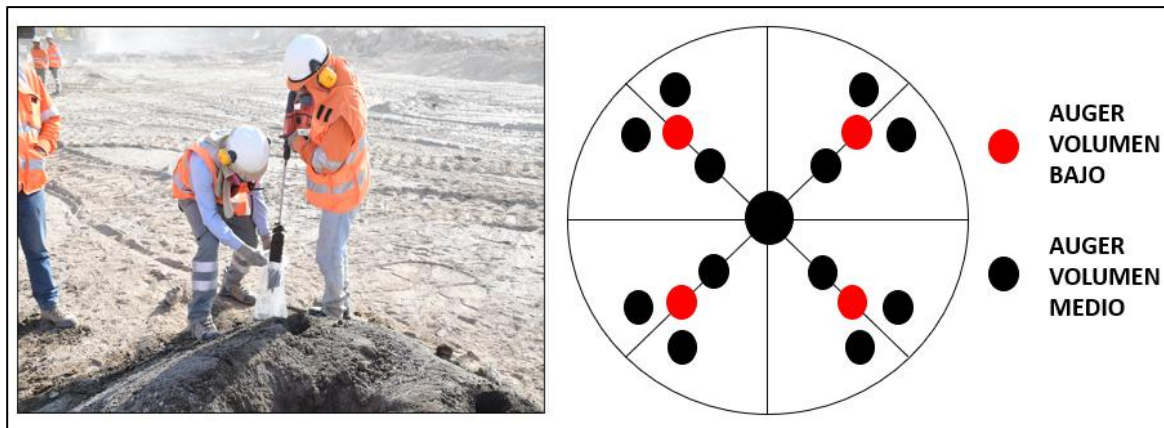
necesitando perforar cuatro taladros para poder realizar todas las pruebas, analizando finalmente 150 muestras originales (no considera muestras de control) en el laboratorio químico, para poder comparar resultados y ver como varían tanto desde aspectos granulométricos como el método en sí, analizando desde un enfoque general hasta un enfoque específico de cada método de muestreo, teniendo siempre muestras estándares o patrones para poder realizar las comparaciones necesarias.



**Fig. 3.13.** Ubicación en 3D de los conos perforados para el análisis. **Fuente:** Del Autor (2019)

### 3.3.1. MÉTODOS DE MUESTREO EVALUADOS EN EL CONO 1

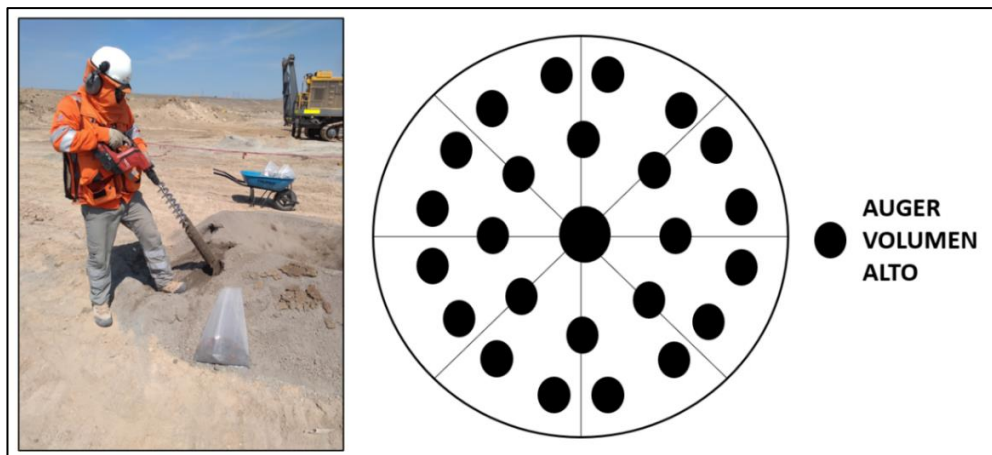
Se evaluaron los métodos del auger de volumen bajo (AB) y volumen medio (AM) (**Figura 3.14**), espacialmente ubicado en las coordenadas Norte 8323725.248, Este 493290.514 y altura 784.09 m.s.n.m.



**Fig. 3.14.** Métodos evaluados en el cono 1. **Fuente:** Del Autor (2019)

### 3.3.2. MÉTODO DE MUESTREO EVALUADO EN EL CONO 2

Se evaluó el método del auger de volumen alto (AA) (**Figura 3.15**), espacialmente ubicado en las coordenadas Norte 8323719.881, Este 493291.393 y altura 783.974 m.s.n.m.

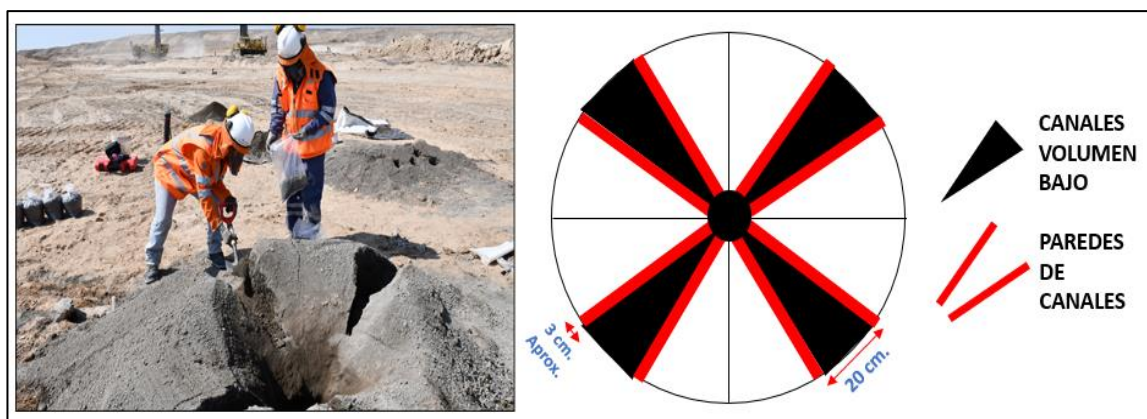


**Fig. 3.15.** Método evaluado en el cono 2. **Fuente:** Del Autor (2019)

### 3.3.3. MÉTODOS DE MUESTREO EVALUADOS EN EL CONO 3

En nuestro tercer cono formado se evaluaron los métodos de canales de volumen bajo (CB) y paredes de canales (P), ambos recolectados con la pala mejorando los cortes radiales sugeridos por Alfaro (2002) y Pitard (2008), considerando que aumenta el esfuerzo realizado por el personal de muestreo y el tiempo en recolectar dichas muestras se tendrán que evaluar estos. (**Figura 3.16**), espacialmente ubicado en las coordenadas Norte 8323723.528, Este 493294.121 y altura 784.121 m.s.n.m.

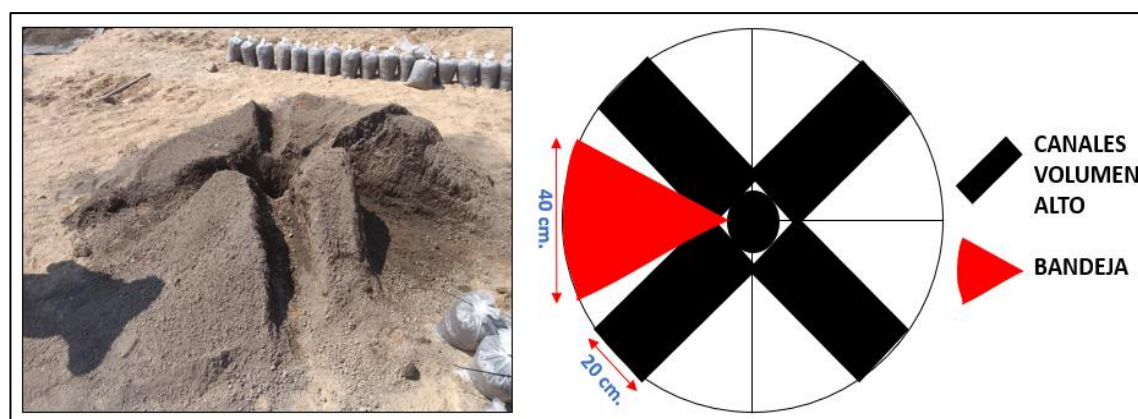




**Fig. 3.16.** Métodos evaluados en el cono 3. **Fuente:** Del Autor (2019)

### 3.3.4. MÉTODOS DE MUESTREO EVALUADOS EN EL CONO 4

En nuestro cuarto y último cono formado se evaluaron los métodos de canales de volumen alto (C) y bandeja (B), ambos recolectados con la pala, del mismo modo hay que considerar que aumenta el esfuerzo realizado por el personal de muestreo y el tiempo en recolectar dichas muestras (**Figura 3.17**), espacialmente ubicado en las coordenadas Norte 8323722.367, Este 493287.447 y altura 784.029 m.s.n.m.



**Fig. 3.17.** Métodos evaluados en el cono 4. **Fuente:** Del Autor (2019)

Concluyendo con la etapa del muestreo primario, para el análisis del método de muestreo de detritos de taladros para voladura en mina Justa, se resume considerando la masa obtenida (cantidad de bolsas) y el tiempo requerido por método, para hacer una primera discriminación de posibles métodos operativos (color verde), poco operativos (color naranja) y no operativos (rojo) como se muestra en la **Tabla 3.2**.

Cono	Método/Tipo de Muestreo	Masa (kg)	Tiempo de Muestreo	Cantidad de Bolsas
1	Auger volumen bajo (AB)	9.88	3 min 28 s	1
	Auger volumen medio (AM)	12.53	5 min 36 s	1
	Estándar o patrón cono 1 (C1)	1500 (aprox.)	120 min (aprox.)	100 (aprox.)
2	Auger volumen alto (AA)	20.53	9 min 32 s	2
	Estándar o patrón cono 2 (C2)	1500 (aprox.)	120 min (aprox.)	100 (aprox.)
3	Canales volumen bajo (CB)	240.54	28 min 44 s	18
	Paredes de canales (P)	36.91	10 min 36 s	3
	Estándar o patrón cono 3 (C3)	1500 (aprox.)	120 min (aprox.)	100 (aprox.)
4	Canales de volumen alto (C)	279.72	26 min 35 s	20
	Bandeja (B)	129.38	11 min 02 s	11
	Estándar o patrón cono 4 (C4)	1500 (aprox.)	2 h (aprox.)	100 (aprox.)

**Tabla 3.2.** Resumen y primera discriminación de métodos a analizar. Verde (método operativo), naranja (método poco operativo) y rojo (método no operativo). **Fuente:** Del Autor (2019)

### 3.4. REDUCCIÓN DE MUESTRAS (HOMOGENEIZACIÓN Y CUARTEO)

Antes de realizar el envío de las muestras al laboratorio químico, según los procedimientos de la mina Justa, estas deben de ser homogenizadas y cuarteadas para reducir la muestra asegurando la equiprobabilidad mencionada por Alfaro (2002), nuestras muestras recolectadas para realizar el presente análisis primero fueron homogenizadas, luego se procedió a cuartearlas, separando los rechazos durante las dos pasadas, para finalmente reducir la muestra obtenida en campo. Se obtuvo al final del proceso del cuarteo, 25 muestras debidamente codificadas, con un promedio del 6 kg por muestra, lo cual está dentro de los estándares de la mina Justa (**Tabla 3.3**).

### 3.5. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Previo al análisis granulométrico, se realizó dos procesos: primero, ensayos de humedad, obteniendo una humedad promedio de 4.28% y segundo a cada muestra se le separó una muestra de patrón propio (1 kg cada una), la cual no pasará por el análisis granulométrico. Entendiéndose que del peso que teníamos en la **Tabla 3.4**, se realizará una reducción de 1 kg por muestra, teniendo finalmente para el análisis granulométrico las mismas muestras pero con menor masa, en promedio 4.56 kg.

Cono	Método/Tipo de Muestreo	MUESTREO PRIMARIO		MUESTRAS REDUCIDAS		
		Masa (kg)	Cantidad de Bolsas	Código	Masa (kg)	Cantidad de Bolsas
1	Auger volumen bajo (AB)	9.88	1	AB	5.16	1
	Auger volumen medio (AM)	12.53	1	AM	6.33	1
	Estándar o patrón cono 1 (C1)	1500 (aprox)	100 (aprox)	C1-1	6.34	3
				C1-2(O)	5.44	
				C1-2(D)	5.53	
2	Auger volumen alto (AA)	20.53	2	AA	5.19	1
	Estándar o patrón cono 2 (C2)	1500 (aprox)	100 (aprox)	C2-1	6.75	3
				C2-2(O)	7.77	
				C2-2(D)	7.12	
3	Canales volumen bajo (CB)	240.54	18	CB-1	6.5	3
				CB-2	6.72	
				CB-3	6.37	
	Paredes de canales (P)	36.91	3	P-1	4.37	1
	Estándar o patrón cono 3 (C3)	1500 (aprox)	100 (aprox)	C3-1	6.05	3
				C3-2(O)	8.25	
				C3-2(D)	7.69	
4	Canales de volumen alto (C)	279.72	20	C-1	5.44	3
				C-2	5.86	
				C-3	5.59	
	Bandeja (B)	129.38	11	B-1	4.72	3
				B-2	5.39	
				B-3	5.31	
	Estándar o patrón cono 4 (C4)	1500 (aprox)	100 (aprox)	C4-1	5.63	3
				C4-2(O)	5.3	
				C4-2(D)	5.55	

**Tabla 3.3.** Resumen del proceso de reducción (homogenización y cuarteo) de las muestras primarias. **Fuente:** Del Autor (2019)

Utilizamos nueve tamices, buscando el P80, que inicialmente no se obtenía (por eso el cambio), pero consideraremos cuatro tamices que son los recomendados para preparación de muestras y análisis químico, considerando que la reducción de tamaño en estos procesos varía entre estas mallas (**Tabla 3.5**).

Para el tamizado se utilizaron siempre siete mallas (pero solo consideraremos los cuatro tamices indicados en la **tabla 3.5**, quedando lo pasante final en un octavo recipiente sin salida, los cuales fueron agitados por un agitador de tamices (Ro-Tap), el cual reproduce el movimiento circular y de golpeo de tamizado manual, pero mediante una acción mecánica reproducible, cada muestra fue sometida a este agitador por 20 minutos (**Figura 3.18**).

Cono	Método/Tipo de Muestreo	Código	MUESTRAS PARA HUMEDAD			MUESTRAS SEPARADAS (PATRÓN PROPIO) (kg)	MUESTRAS PARA GRANULOMETRÍA (kg)
			Peso Recepción (kg)	Peso Seco (kg)	Humedad (%)		
1	Auger volumen bajo (AB)	AB	5.10	4.82	5.61	0.98	3.8359
	Auger volumen medio (AM)	AM	6.30	5.92	6.13	1.19	4.728
	Estándar o patrón cono 1 (C1)	C1-1	6.31	6.06	3.92	1.23	4.836
		C1-2(O)	5.42	5.22	3.56	1.08	4.147
		C1-2(D)	5.50	5.31	3.51	1.09	4.2175
2	Auger volumen alto (AA)	AA	5.16	4.84	6.31	0.98	3.8559
	Estándar o patrón cono 2 (C2)	C2-1	6.82	6.61	3.18	1.37	5.2352
		C2-2(O)	7.75	7.55	2.58	1.58	5.9717
		C2-2(D)	7.09	6.91	2.54	1.42	5.495
3	Canales volumen bajo (CB)	CB-1	6.47	6.13	5.22	1.27	4.8633
		CB-2	6.69	6.36	4.98	1.31	5.0543
		CB-3	6.35	6.03	4.96	1.25	4.7809
	Paredes de canales (P)	P-1	4.34	4.12	5.02	0.83	3.2932
	Estándar o patrón cono 3 (C3)	C3-1	6.02	5.80	3.61	1.18	4.6199
		C3-2(O)	8.21	7.95	3.08	1.62	6.3342
		C3-2(D)	7.66	7.42	3.14	1.55	5.8671
4	Canales de volumen alto (C)	C-1	5.41	5.12	5.30	1.04	4.0814
		C-2	5.84	5.53	5.22	1.11	4.4203
		C-3	5.57	5.27	5.26	1.15	4.118
	Bandeja (B)	B-1	4.69	4.45	5.21	0.92	3.534
		B-2	5.36	5.09	5.03	1.03	4.0602
		B-3	5.28	5.02	4.97	1.01	4.0107
	Estándar o patrón cono 4 (C4)	C4-1	5.60	5.44	3.03	1.10	4.332
		C4-2(O)	5.27	5.13	2.81	1.06	4.0645
		C4-2(D)	5.53	5.37	2.81	1.09	4.2769

**Tabla 3.4.** Valores de porcentaje de humedad obtenidos en las muestras, muestras separadas para ser patrones propios y masas nuevas que pasarán por los tamices.

**Fuente:** Área de Control de Mineral de Mina Justa (2019)

N° Malla ASTM	Abertura (µm)
3/8	9500
1/4	6300
6	3350
12	1700
20	850
50	300
70	212
100	150
140	106
-140	-106

**Tabla 3.5.** Tamices del análisis granulométrico (celeste). **Fuente:** Del Autor (2019)



**Fig. 3.18.** Agitador de tamices utilizado para el análisis granulométrico. **Fuente:** Del Autor (2019)

Analizando la **Figura 3.19**, resalta nuestro problema específico planteado, respecto a si la ley estimada que representaría a nuestro material puede variar según varíe la granulometría de los detritos.

Finalmente cada una de las 25 muestras sometidas al agitador de tamices, se dividieron en 5 submuestras, debidamente codificadas según el número de malla donde se retuvieron los detritos (12, 70, 100, 140 y -140), teniendo en resumen 25 muestras separadas para utilizar como patrón propio de cada muestra (**Tabla 3.4**) más las 125 submuestras que acabamos de obtener, acumulando 150 muestras que serán enviadas al laboratorio para su análisis químico cómo se puede observar en la **Tabla 3.6**.





**Fig. 3.19.** Fotografía de detritos retenidos por las diferentes aberturas en cada malla utilizada (1/4, 6, 12, 20, 70, 100, 140, -140). Muestra C3-2 (O), estándar o patrón de cono 3, obtenida al final de todo el proceso del cuarteo. **Fuente:** Área de Control de Mineral de Mina Justa (2019)

Cono	Método/Tipo de Muestreo	Códigos Muestras Patrón Propio	Códigos Muestras Tamizadas	Subtotal de Muestras
1	Auger volumen bajo (AB)	AB	AB +12, AB +70, AB +100, AB +140 y AB -140	6
	Auger volumen medio (AM)	AM	AM +12, AM +70, AM +100, AM +140 y AM -140	6
	Estándar o patrón cono 1 (C1)	C1-1	C1-1 +12, C1-1 +70, C1-1 +100, C1-1 +140 y C1-1 -140	6
		C1-2(O)	C1-2 +12(O), C1-2 +70(O), C1-2 +100(O), C1-2 +140(O), C1-2 -140(O)	6
		C1-2(D)	C1-2 +12(D), C1-2 +70(D), C1-2 +100(D), C1-2 +140(D), C1-2 -140(D)	6
2	Auger volumen alto (AA)	AA	AA +12, AA +70, AA +100, AA +140 y AA -140	6
	Estándar o patrón cono 2 (C2)	C2-1	C2-1 +12, C2-1 +70, C2-1 +100, C2-1 +140 y C2-1 -140	6
		C2-2(O)	C2-2 +12(O), C2-2 +70(O), C2-2 +100(O), C2-2 +140(O), C2-2 -140(O)	6
		C2-2(D)	C2-2 +12(D), C2-2 +70(D), C2-2 +100(D), C2-2 +140(D), C2-2 -140(D)	6
3	Canales volumen bajo (CB)	CB-1	CB-1 +12, CB-1 +70, CB-1 +100, CB-1 +140 y CB-1 -140	6
		CB-2	CB-2 +12, CB-2 +70, CB-2 +100, CB-2 +140 y CB-2 -140	6
		CB-3	CB-3 +12, CB-3 +70, CB-3 +100, CB-3 +140 y CB-3 -140	6
	Paredes de canales (P)	P-1	P-1 +12, P-1 +70, P-1 +100, P-1 +140 y P-1 -140	6
	Estándar o patrón cono 3 (C3)	C3-1	C3-1 +12, C3-1 +70, C3-1 +100, C3-1 +140 y C3-1 -140	6
		C3-2(O)	C3-2 +12(O), C3-2 +70(O), C3-2 +100(O), C3-2 +140(O), C3-2 -140(O)	6
		C3-2(D)	C3-2 +12(D), C3-2 +70(D), C3-2 +100(D), C3-2 +140(D), C3-2 -140(D)	6
4	Canales de volumen alto (C)	C-1	C-1 +12, C-1 +70, C-1 +100, C-1 +140 y C-1 -140	6
		C-2	C-2 +12, C-2 +70, C-2 +100, C-2 +140 y C-2 -140	6
		C-3	C-3 +12, C-3 +70, C-3 +100, C-3 +140 y C-3 -140	6
	Bandeja (B)	B-1	B-1 +12, B-1 +70, B-1 +100, B-1 +140 y B-1 -140	6
		B-2	B-2 +12, B-2 +70, B-2 +100, B-2 +140 y B-2 -140	6
		B-3	B-3 +12, B-3 +70, B-3 +100, B-3 +140 y B-3 -140	6
	Estándar o patrón cono 4 (C4)	C4-1	C4-1 +12, C4-1 +70, C4-1 +100, C4-1 +140 y C4-1 -140	6
		C4-2(O)	C4-2 +12(O), C4-2 +70(O), C4-2 +100(O), C4-2 +140(O), C4-2 -140(O)	6
		C4-2(D)	C4-2 +12(D), C4-2 +70(D), C4-2 +100(D), C4-2 +140(D), C4-2 -140(D)	6
Total				150

**Tabla 3.6.** Códigos de muestras enviadas al laboratorio químico. **Fuente:** Del Autor (2019)

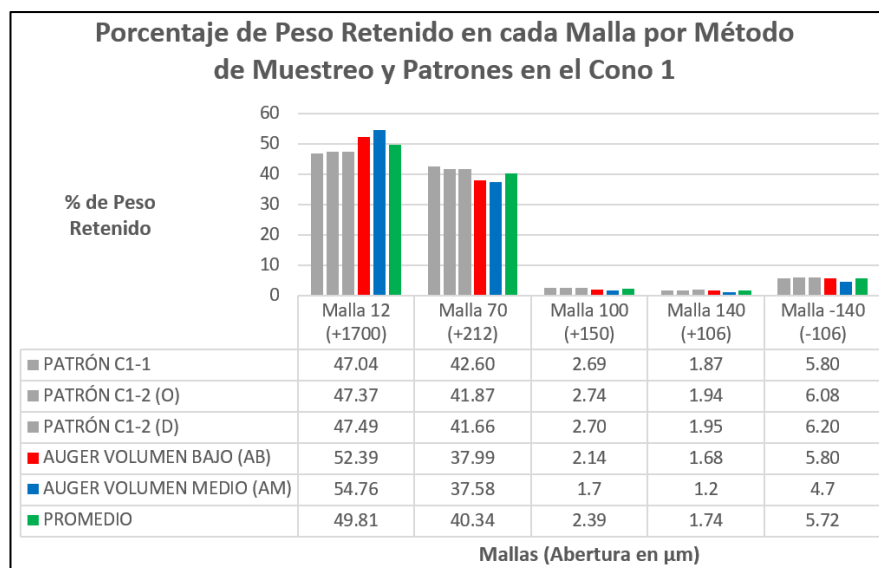
### 3.6. ESTADÍSTICA DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Se procedió al análisis y tratamiento estadístico, con los porcentajes de pesos y finalmente sus diferencias porcentuales entre los métodos a evaluar, realizando estos, primero para cada uno de los cuatro conos, para luego unir las diferencias porcentuales de los métodos evaluados de todos los conos y tener una mayor idea de cuales tienen mayor similitud con sus estándares o patrones.

### 3.6.1. DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE DETRITOS EN LOS CONOS

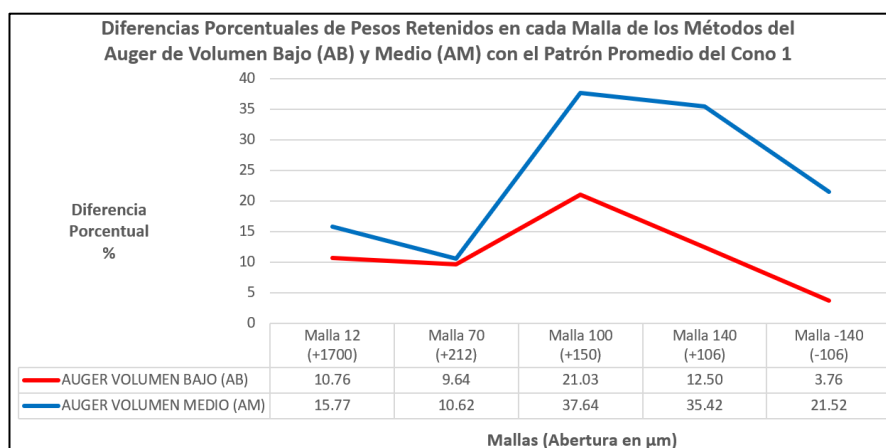
#### 3.6.1.1. DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA EN EL CONO 1

Se observa en la **Figura 3.20**, que quedan retenidos porcentajes de pesos similares con muy poca variabilidad entre los métodos evaluados, auger de volumen bajo (AB) y medio (AM) y los 3 patrones y que en promedio el 90.15% de detritos son mayores a 212 micras (malla 70).



**Fig. 3.20.** Porcentaje de peso retenido por malla en el cono 1. **Fuente:** Del Autor (2019)

De este último análisis se pueden encontrar las diferencias porcentuales de ambos métodos analizados en comparación con el patrón promedio, observando que la distribución granulométrica del método del auger de volumen bajo es más similar al patrón promedio que el método del auger de volumen medio, pero ambos tienen poca variabilidad, para poder ser considerados (**Figura 3.21**).

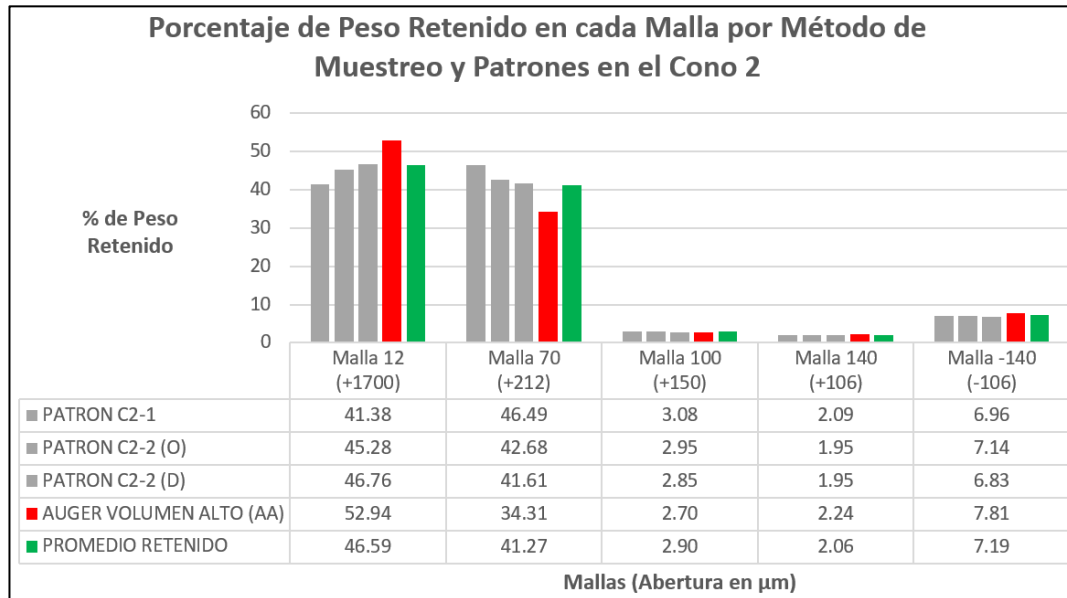


**Fig. 3.21.** Diferencias porcentuales de pesos retenidos en el cono 1. **Fuente:** Del Autor (2019)



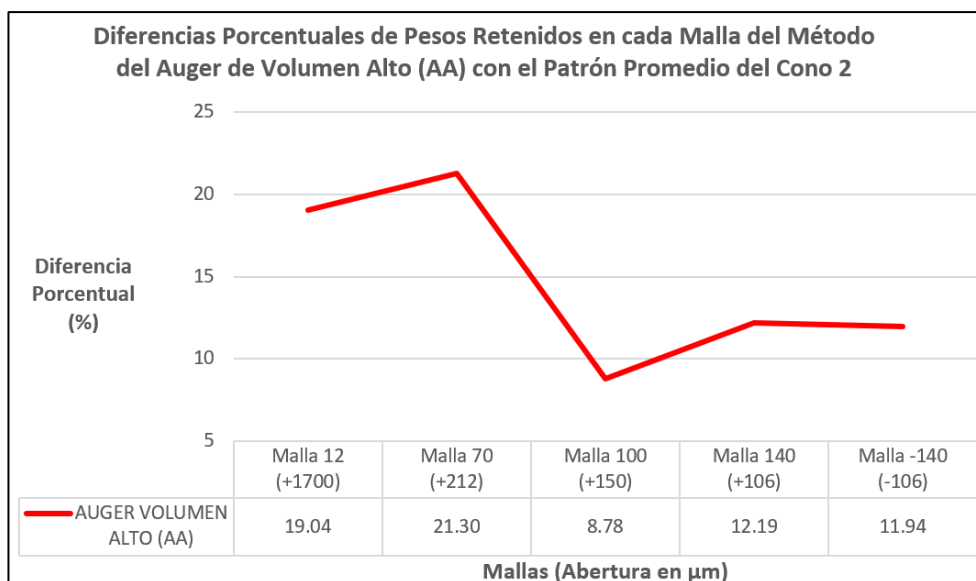
### 3.6.1.2. DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA EN EL CONO 2

Se observa que quedan retenidos porcentajes de pesos similares con muy poca variabilidad entre el método evaluado y los 3 patrones y que en promedio el 87.86% de detritos son mayores a 212 micras (malla 70) (**Figura 3.22**).



**Fig. 3.22.** Porcentaje de peso retenido por malla en el cono 2. **Fuente:** Del Autor (2019)

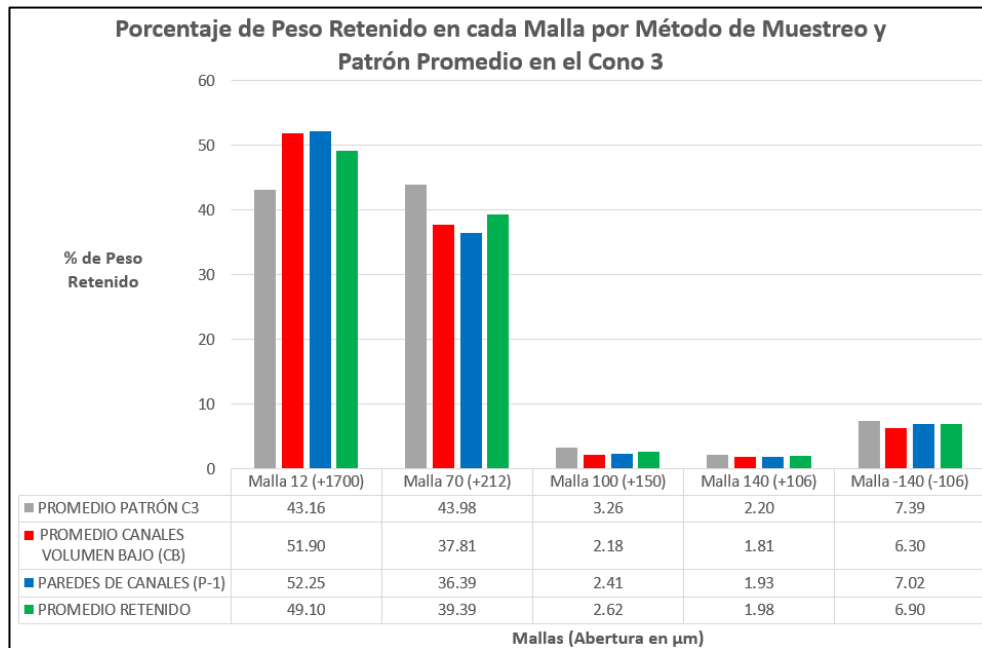
De este último análisis se pueden encontrar las diferencias porcentuales del método analizado en comparación con el patrón promedio, observando que la distribución granulométrica del método del auger de volumen alto varía entre 8.78% y 21.30% (**Figura 3.23**).



**Fig. 3.23** Diferencias porcentuales de pesos retenidos en el cono 2. **Fuente:** Del Autor (2019)

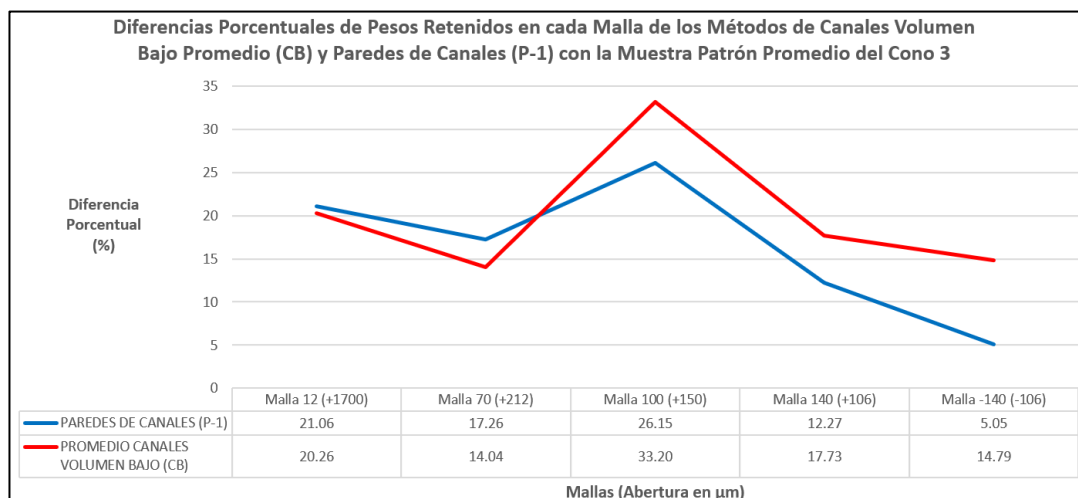
### 3.6..1.3. DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA EN EL CONO 3

Promediando muestras patrón y canales de volumen bajo se observa poca variedad entre métodos evaluados y el patrón promedio de porcentajes de peso retenido y 88.49% de detritos son mayores a 212 micras (malla 70) (**Figura 3.24**).



**Fig. 3.24.** Porcentaje de peso retenido en el cono 3. **Fuente:** Del Autor (2019)

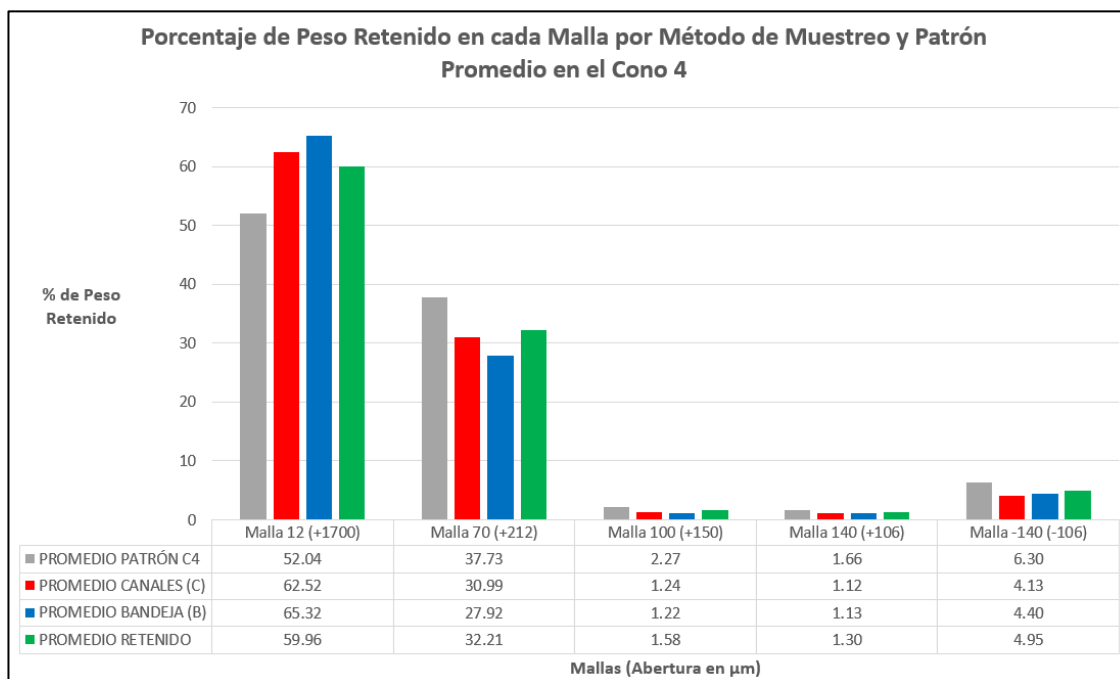
En las diferencias porcentuales del método analizado en comparación con el patrón promedio, se observa que la distribución granulométrica del método de muestreo de paredes de canales es más similar al patrón promedio (**Figura 3.25**).



**Fig. 3.25** Diferencias porcentuales de pesos retenidos en el cono 3. **Fuente:** Del Autor (2019)

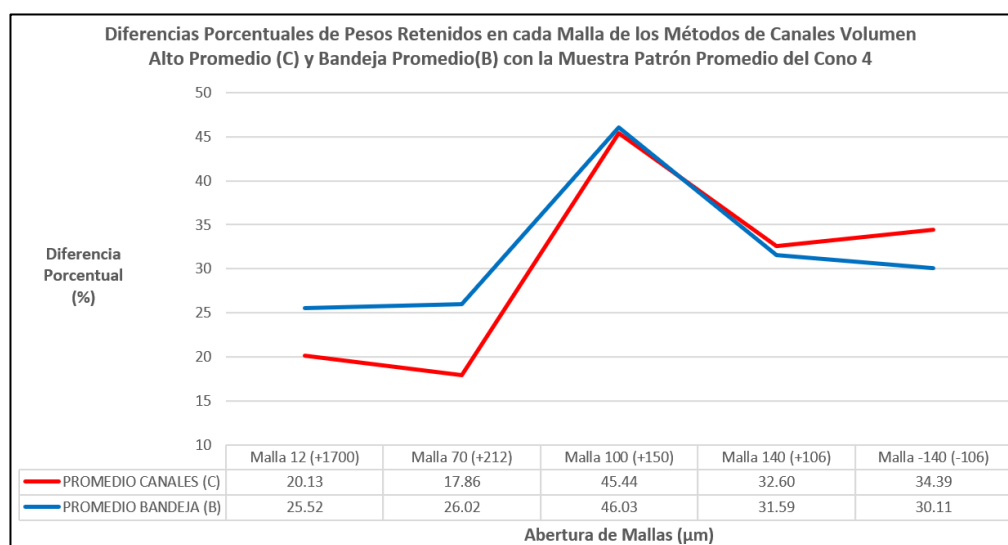
### 3.6.1.4. DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA EN EL CONO 4

Promediando muestras patrón, canales de volumen alto y bandeja, hay similitud entre los métodos evaluados y el patrón promedio de porcentajes de peso retenido, con 92.17% de detritos mayores a 212 micras (malla 70) (**Figura 3.26**).



**Fig. 3.26.** Porcentaje de peso retenido en el cono 4. **Fuente:** Del Autor (2019)

Con las diferencias porcentuales del método analizado en comparación con el patrón promedio, se observa que la distribución granulométrica del método de muestreo de canales es más similar al patrón promedio (**Figura 3.27**).



**Fig. 3.27.** Diferencias porcentuales de pesos retenidos en el cono 4. **Fuente:** Del Autor (2019)

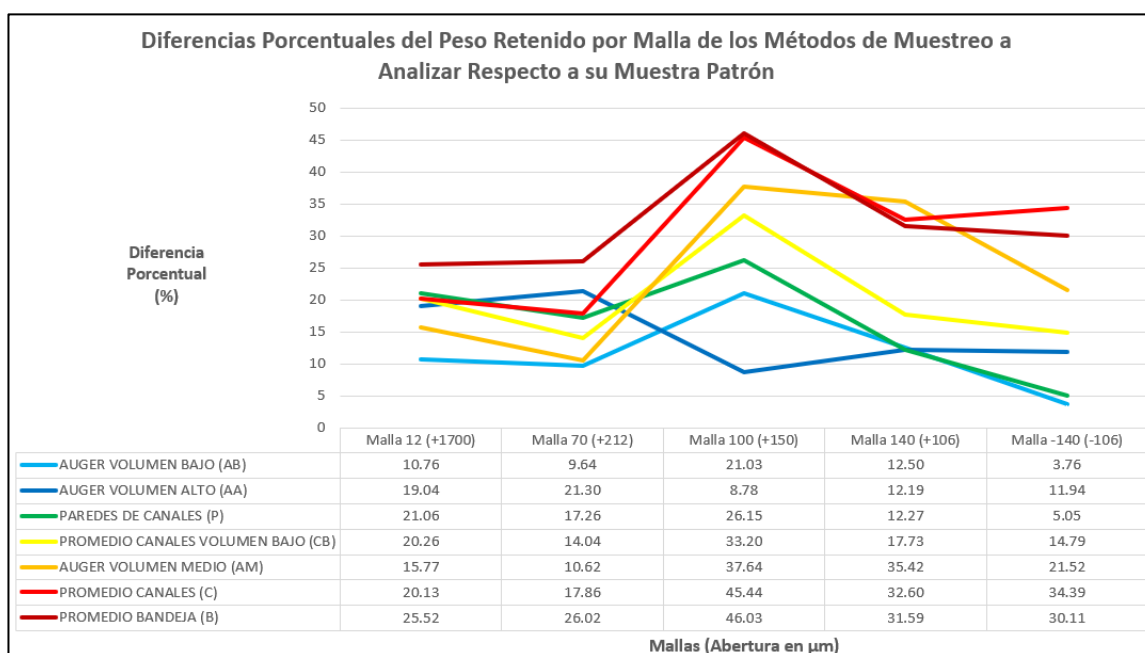
### 3.6.2. COMPARACIONES DE LAS DISTRIBUCIONES GRANULOMÉTRICAS

Uniando las diferencias porcentuales del peso retenido por malla de todos los métodos a analizar respecto a su muestra estándar o patrón, como se muestra en la **Tabla 3.7**, observamos con menor promedio (11.54%) al método del auger de volumen bajo, en segunda posición con 14.65% promedio al método del auger de volumen alto y en tercera ubicación al método de paredes de canales.

MALLA (ABERTURA en $\mu\text{m}$ )	AUGER VOLUMEN BAJO (AB)	AUGER VOLUMEN MEDIO (AM)	AUGER VOLUMEN ALTO (AA)	PROMEDIO CANALES VOLUMEN BAJO (CB)	PAREDES DE CANALES (P)	PROMEDIO CANALES (C)	PROMEDIO BANDEJA (B)
Malla 12 (+1700)	10.76	15.77	19.04	20.26	21.06	20.13	25.52
Malla 70 (+212)	9.64	10.62	21.30	14.04	17.26	17.86	26.02
Malla 100 (+150)	21.03	37.64	8.78	33.20	26.15	45.44	46.03
Malla 140 (+106)	12.50	35.42	12.19	17.73	12.27	32.60	31.59
Malla -140 (-106)	3.76	21.52	11.94	14.79	5.05	34.39	30.11
<b>PROMEDIO (%)</b>	<b>11.54</b>	<b>24.19</b>	<b>14.65</b>	<b>20.00</b>	<b>16.36</b>	<b>30.08</b>	<b>31.85</b>
<b>POSICIÓN</b>	<b>1º</b>	<b>5º</b>	<b>2º</b>	<b>4º</b>	<b>3º</b>	<b>6º</b>	<b>7º</b>

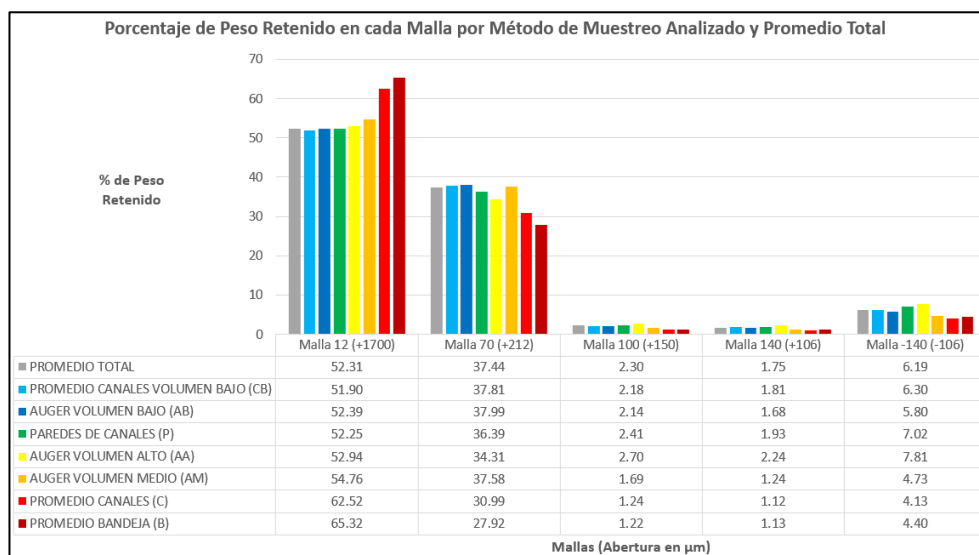
**Tabla 3.7.** Diferencias porcentuales del peso retenido por malla de los métodos de muestreo a analizar respecto a su muestra estándar o patrón. **Fuente:** Del Autor (2019)

Esta comparación la podemos observar también en el gráfico de la **Figura 3.28**, donde se evidencia la evolución de las diferencias porcentuales entre las mallas para todos los métodos de muestreo analizados comparados con su propia muestra estándar o patrón.



**Fig. 3.28.** Diferencias porcentuales de peso retenido por malla de los métodos de muestreo a analizar respecto a su muestra patrón. **Fuente:** Del Autor (2019)

Una segunda comparación se realiza entre el promedio total del porcentaje de peso retenido (incluye patrones), donde se observa mejoras en algunos métodos en contraste con la primera comparación (**Figura 3.29**).



**Fig. 3.29.** Gráfico de porcentajes de peso retenido en cada malla por método de muestreo analizados y promedio total. **Fuente:** Del Autor (2019)

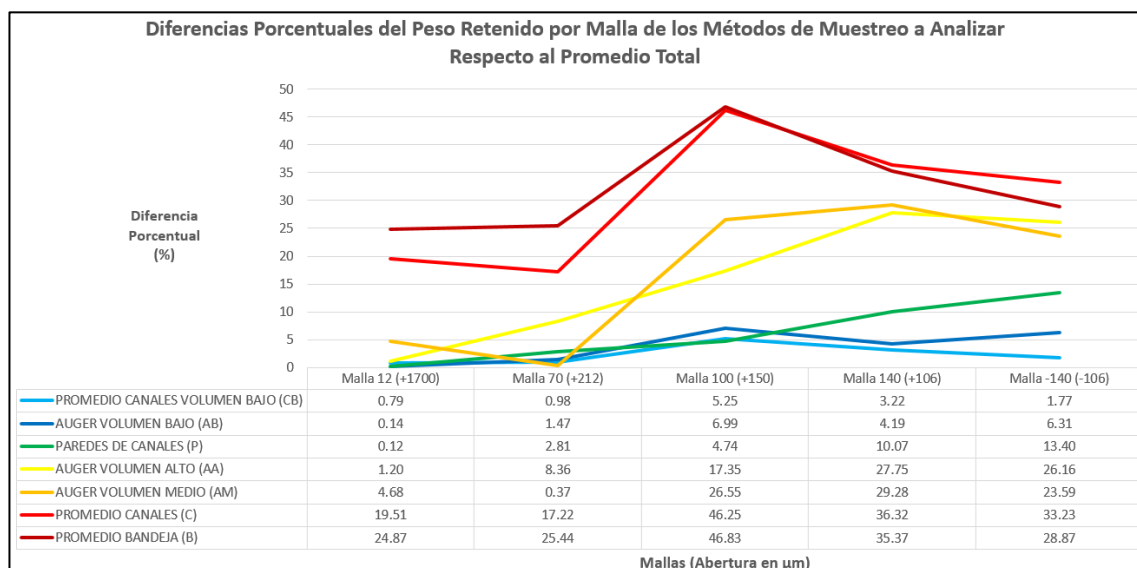
Teniendo la data previa, se procedió a encontrar las diferencias porcentuales de todos los métodos analizados con el promedio total (**Tabla 3.8**), donde se observa con menor promedio (2.4%) al método de canales de volumen bajo, en segunda posición con 3.82% promedio al método del auger de volumen bajo y en tercera ubicación al método de paredes de canales. Muchos métodos tienen menores diferencias porcentuales al compararse con el promedio total de muestras, excepto los métodos de canales y de la bandeja.

MALLA (ABERTURA en µm)	AUGER VOLUMEN BAJO (AB)	AUGER VOLUMEN MEDIO (AM)	AUGER VOLUMEN ALTO (AA)	PROMEDIO CANALES VOLUMEN BAJO (CB)	PAREDES DE CANALES (P)	PROMEDIO CANALES (C)	PROMEDIO BANDEJA (B)
Malla 12 (+1700)	0.14	4.68	1.20	0.79	0.12	19.51	24.87
Malla 70 (+212)	1.47	0.37	8.36	0.98	2.81	17.22	25.44
Malla 100 (+150)	6.99	26.55	17.35	5.25	4.74	46.25	46.83
Malla 140 (+106)	4.19	29.28	27.75	3.22	10.07	36.32	35.37
Malla -140 (-106)	6.31	23.59	26.16	1.77	13.40	33.23	28.87
<b>PROMEDIO (%)</b>	<b>3.82</b>	<b>16.89</b>	<b>16.16</b>	<b>2.40</b>	<b>6.23</b>	<b>30.51</b>	<b>32.27</b>
<b>POSICIÓN</b>	<b>2º</b>	<b>5º</b>	<b>4º</b>	<b>1º</b>	<b>3º</b>	<b>6º</b>	<b>7º</b>

**Tabla 3.8.** Diferencias porcentuales del peso retenido por malla de los métodos de muestreo a analizar respecto al promedio total. **Fuente:** Del Autor (2019)

Así mismo, en la **Figura 3.30**, se puede observar estas diferencias porcentuales graficadas y ordenadas por la posición que ocupan, ubicándose en primera

posición el método de canales de volumen bajo que mejoró, en las posiciones 2, 4 y 5 los métodos del auger con un ligero bajón, en la posición 3 el método de paredes de canales que se mantiene al igual que los métodos de canales y la bandeja, todo esto respecto a la comparación previa.



**Fig. 3.30.** Gráfico de diferencias porcentuales de peso retenido por malla de los métodos de muestreo a analizar respecto al promedio total. **Fuente:** Del Autor (2019)

### 3.7. ESTADÍSTICA DEL ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD

Los objetivos del aseguramiento y control de calidad de las muestras obtenidas para el presente análisis fueron los siguientes:

- Prevenir (asegurar la calidad), minimizando los errores inherentes en el proceso de obtención de la información primaria: recolección de muestras, preparación de muestra, envío de muestra a analizar.
- Detectar (controlar la calidad) aplicando eficientemente los diferentes controles implementados en las diferentes etapas de trabajo.
- Obtener finalmente valores confiables que representen las condiciones de distribución y mineralización real del material representado.

Aplicando el procedimiento actual en la mina Justa de aseguramiento y control de calidad en resultados de las muestras obtenidas para luego de validar estas, recién proceder a considerar los resultados como óptimos al elevar sus niveles de confiabilidad de los procesos de conminución y análisis químicos.

Código - Muestra	Sample Ident	QA/QC	Código - Muestra	Sample Ident	QA/QC	Código - Muestra	Sample Ident	QA/QC	Código - Muestra	Sample Ident	QA/QC
C1-1	1105100001	O	C2-2 +70 (O)	1105100046	O	CB-1 +140	1105100091	O	O4	1105100136	O4
C1-1 +12	1105100002	O	O2	1105100047	O2	CB-1 -140	1105100092	O	C-1	1105100137	O
C1-1 +70	1105100003	O	C2-2 +100 (O)	1105100048	O	CB-2	1105100093	O	C-1 +12	1105100138	O
C1-1 +100	1105100004	O	C2-2 +140 (O)	1105100049	O	CB-2 +12	1105100094	O	MGM	1105100139	MGM4
C1-1 +140	1105100005	O	MGM	1105100050	MGM2	CB-2 +70	1105100095	O	C-1 +70	1105100140	O
C1-1 -140	1105100006	O	C2-2 -140 (O)	1105100051	O	BF_MAR	1105100096	BF_MAR3	C-1 +100	1105100141	O
BF_MAR	1105100007	BF_MAR1	C2-2 (D)	1105100052	O	BG_MAR	1105100097	BG_MAR3	C-1 +140	1105100142	O
BG_MAR	1105100008	BG_MAR1	C2-2 +12 (D)	1105100053	O	CB-2 +100	1105100098	O	C-1 -140	1105100143	O
C1-2 (O)	1105100009	O	C2-2 +70 (D)	1105100054	O	CB-2 +140	1105100099	O	C-2 +100	1105100144	O
C1-2 +12 (O)	1105100010	O	C2-2 +100 (D)	1105100055	O	CB-2 -140	1105100100	O	C-2 +12	1105100145	O
C1-2 +70 (O)	1105100011	O	C2-2 +140 (D)	1105100056	O	CB-3	1105100101	O	C-2 +70	1105100146	O
O1	1105100012	O1	C2-2 -140 (D)	1105100057	O	CB-3 +12	1105100102	O	C-2	1105100147	ODP4
C1-2 +100 (O)	1105100013	O	AA	1105100058	ODP2	CB-3 +70	1105100103	O	DP	1105100148	DP4
C1-2 +140 (O)	1105100014	O	DP	1105100059	DP2	O3	1105100104	O3	C-2 +140	1105100149	O
C1-2 -140 (O)	1105100015	O	AA +12	1105100060	O	MGM	1105100105	MGM3	C-2 -140	1105100150	O
MGM	1105100016	MGM1	AA +70	1105100061	O	CB-3 +100	1105100106	O	C-3	1105100151	O
C1-2 -140 (D)	1105100017	O	AA +100	1105100062	O	CB-3 +140	1105100107	O	C-3 +12	1105100152	O
C1-2 +12 (D)	1105100018	O	AA +140	1105100063	O	CB-3 -140	1105100108	O	C-3 +70	1105100153	O
C1-2 +70 (D)	1105100019	O	AA -140	1105100064	O	P-1 +70	1105100109	O	C-3 +100	1105100154	O
C1-2 +100 (D)	1105100020	O	C3-1	1105100065	O	P-1 +12	1105100110	O	C-3 +140	1105100155	O
C1-2 +140 (D)	1105100021	O	C3-1 +12	1105100066	O	P-1	1105100111	ODG3	C-3 -140	1105100156	O
C1-2 (D)	1105100022	ODG1	C3-1 +70	1105100067	O	DG	1105100112	DG3	BF_MAR	1105100157	BF_MAR4
DG	1105100023	DG1	BF_MAR	1105100068	BF_MAR2	P-1 +100	1105100113	O	BG_MAR	1105100158	BG_MAR4
AB	1105100024	O	BG_MAR	1105100069	BG_MAR2	P-1 +140	1105100114	O	B-1	1105100159	O
AB +12	1105100025	O	C3-1 +100	1105100070	O	P-1 -140	1105100115	O	B-1 +12	1105100160	O
AB +70	1105100026	O	C3-1 +140	1105100071	O	C4-1	1105100116	O	B-1 +70	1105100161	O
AB +100	1105100027	O	C3-1 -140	1105100072	O	C4-1 +12	1105100117	O	B-1 +100	1105100162	O
AB +140	1105100028	O	C3-2 +140 (O)	1105100073	O	C4-1 +70	1105100118	O	B-1 +140	1105100163	O
AB -140	1105100029	O	C3-2 +12 (O)	1105100074	O	C4-1 +100	1105100119	O	B-1 -140	1105100164	O
AM	1105100030	O	C3-2 +70 (O)	1105100075	O	ST1800013	1105100120	ST1800013_3	B-2 +12	1105100165	O
ST1800013	1105100031	ST1800013_1	C3-2 +100 (O)	1105100076	O	C4-1 +140	1105100121	O	B-2	1105100166	ODG4
AM +12	1105100032	O	C3-2 (O)	1105100077	ODG2	C4-1 -140	1105100122	O	DG	1105100167	DG4
AM +70	1105100033	O	DG	1105100078	DG2	C4-2 -140 (O)	1105100123	O	B-2 +70	1105100168	O
AM +100	1105100034	O	C3-2 -140 (O)	1105100079	O	C4-2 +12 (O)	1105100124	O	B-2 +100	1105100169	O
AM +140	1105100035	O	C3-2 (D)	1105100080	O	C4-2 +70 (O)	1105100125	O	B-2 +140	1105100170	O
AM -140	1105100036	O	C3-2 +12 (D)	1105100081	O	C4-2 +100 (O)	1105100126	O	B-2 -140	1105100171	O
C2-1 +70	1105100037	O	C3-2 +70 (D)	1105100082	O	C4-2 +140 (O)	1105100127	O	B-3	1105100172	O
C2-1 +12	1105100038	O	C3-2 +100 (D)	1105100083	O	C4-2 (O)	1105100128	ODP3	B-3 +12	1105100173	O
C2-1	1105100039	ODP1	C3-2 +140 (D)	1105100084	O	DP	1105100129	DP3	B-3 +70	1105100174	O
DP	1105100040	DP1	C3-2 -140 (D)	1105100085	O	C4-2 (D)	1105100130	O	B-3 +100	1105100175	ST1800013_4
C2-1 +100	1105100041	O	ST1800013	1105100086	ST1800013_2	C4-2 +12 (D)	1105100131	O	B-3 +140	1105100176	O
C2-1 +140	1105100042	O	CB-1	1105100087	O	C4-2 +70 (D)	1105100132	O	B-3 -140	1105100177	O
C2-1 -140	1105100043	O	CB-1 +12	1105100088	O	C4-2 +100 (D)	1105100133	O			
C2-2 (O)	1105100044	O	CB-1 +70	1105100089	O	C4-2 +140 (D)	1105100134	O			
C2-2 +12 (O)	1105100045	O	CB-1 +100	1105100090	O	C4-2 -140 (D)	1105100135	O			

**Tabla. 3.9.** Matriz de órdenes (lotes) de envío al laboratorio para la preparación y el análisis químico. **Fuente:** Área de Control de Mineral de Mina Justa (2019)

Se tienen 154 muestras originales, para las cuales realizamos en total 24 inserciones de muestras control (4 gemelas, 4 blancos gruesos, 4 blancos finos, 4 duplicados gruesos, 4 duplicados finos, y 4 estándares de alta ley), un total de 178 muestras, ver **Tabla 3.9.**

### 3.7.1. ANÁLISIS DE PRECISIÓN

Para controlar este parámetro de calidad, se insertaron las siguientes muestras de control: 4 gemelas de mina (MGM), 4 duplicados gruesos (DG) y 4 duplicados de pulpa (DP) que controlan la precisión del muestreo, submuestreo (preparación) y análisis químico respectivamente, a todas ellas se les asignó una muestra original que vendría a ser su par a comparar, considerando utilizar

solo el dato resultante del Cu\_AS(%) (**Tabla 3.10**), se observa que más del 90% de las comparaciones tienen resultados muy precisos, pero encontramos en nuestra primera muestra un error muy grosero, se trata de la muestra gemela (MGM1), en la cual el valor en su original fue de 0.128% Cu\_AS, mientras que en la gemela resulto ser 1.314% Cu\_AS.

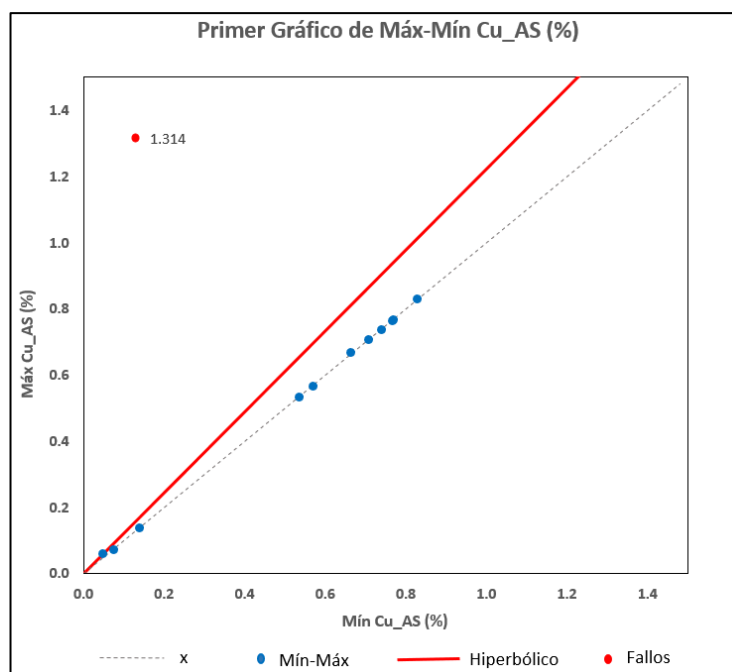
Identificación de Muestra	QA/QC	Límite de Detección (%)	Cu_AS (%)	Promedio	Error Permissible (%)	Límite Mínimo Permissible (%)	Límite Máximo Permissible (%)
1105100012	O1	0.01	0.128	0.721	10	0.649	0.793
1105100016	MGM1		1.314				
1105100022	ODG1	0.01	0.535	0.5335	10	0.480	0.587
1105100023	DG1		0.532				
1105100039	ODP1	0.01	0.831	0.8285	10	0.746	0.911
1105100040	DP1		0.826				
1105100047	O2	0.01	0.141	0.139	10	0.125	0.153
1105100050	MGM2		0.137				
1105100058	ODP2	0.01	0.737	0.7365	10	0.663	0.810
1105100059	DP2		0.736				
1105100077	ODG2	0.01	0.66	0.665	10	0.599	0.732
1105100078	DG2		0.67				
1105100104	O3	0.01	0.076	0.075	10	0.068	0.083
1105100105	MGM3		0.074				
1105100111	ODG3	0.01	0.569	0.5675	10	0.511	0.624
1105100112	DG3		0.566				
1105100128	ODP3	0.01	0.763	0.7645	10	0.688	0.841
1105100129	DP3		0.766				
1105100136	O4	0.01	0.047	0.0545	10	0.049	0.060
1105100139	MGM4		0.062				
1105100147	ODP4	0.01	0.767	0.767	10	0.690	0.844
1105100148	DP4		0.767				
1105100166	ODG4	0.01	0.709	0.7065	10	0.636	0.777
1105100167	DG4		0.704				

**Tabla. 3.10.** Primer cuadro de parámetros para analizar el nivel precisión. **Fuente:** Del Autor (2019)

Este error es muy fácil de detectarlo generando un gráfico de “Máx-Mín”, en la cual se plotean los datos obtenidos en la tabla de parámetros para analizar el nivel de precisión, como se observa en la **Figura 3.31**, donde un par de muestras resultan como fallos, debido a que su precisión supera la tasa de error (10%) según el procedimiento en la mina Justa, lo cual nos obliga a tomar una medida de acción que asegure la calidad.

Luego de analizar las contramuestras de la MGM1, se detectó visualmente que esta tiene un valor de óxidos de cobre muy bajo (trazas), lo cual nos confirmó que el error se generó al momento de reportar la ley final de Cu\_AS por el laboratorio, procediendo a solicitar un reanálisis de todo el primer lote de 45 muestras, al cual pertenece la MGM1 (ver **Anexo 2**), descartando errores de muestreo en campo.





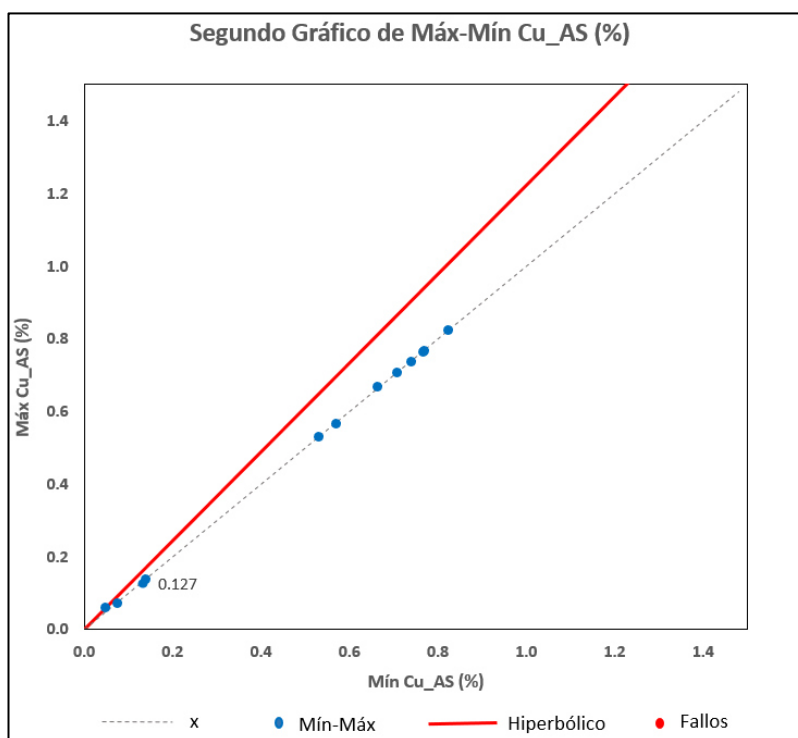
**Fig. 3.31.** Primer gráfico de Máx-Mín de Cu\_AS (%). **Fuente:** Del Autor (2019)

Identificación de Muestra	QA/QC	Límite de Detección (%)	Cu_AS (%)	Promedio	Error Permissible (%)	Límite Mínimo Permissible (%)	Límite Máximo Permissible (%)
1105100012	O1	0.01	0.130	0.129	10	0.116	0.141
1105100016	MGM1		0.127				
1105100022	ODG1	0.01	0.533	0.531	10	0.477	0.584
1105100023	DG1		0.528				
1105100039	ODP1	0.01	0.824	0.822	10	0.739	0.904
1105100040	DP1		0.819				
1105100047	O2	0.01	0.141	0.139	10	0.125	0.153
1105100050	MGM2		0.137				
1105100058	ODP2	0.01	0.737	0.737	10	0.663	0.810
1105100059	DP2		0.736				
1105100077	ODG2	0.01	0.660	0.665	10	0.599	0.732
1105100078	DG2		0.670				
1105100104	O3	0.01	0.076	0.075	10	0.068	0.083
1105100105	MGM3		0.074				
1105100111	ODG3	0.01	0.569	0.568	10	0.511	0.624
1105100112	DG3		0.566				
1105100128	ODP3	0.01	0.763	0.765	10	0.688	0.841
1105100129	DP3		0.766				
1105100136	O4	0.01	0.047	0.055	10	0.049	0.060
1105100139	MGM4		0.062				
1105100147	ODP4	0.01	0.767	0.767	10	0.690	0.844
1105100148	DP4		0.767				
1105100166	ODG4	0.01	0.709	0.707	10	0.636	0.777
1105100167	DG4		0.704				

**Tabla. 3.11.** Segundo cuadro de parámetros para analizar el nivel precisión. **Fuente:** Del Autor (2019)

Ya en la **Tabla 3.11**, observamos que los seis primeros resultados variaron debido al reanálisis realizado, donde el par de muestras O1 y MGM1, ya tienen valores que no superan la tasa de error del 10%, mientras que los otros pares

mantienen también esta condición, lo cual se refleja también en el segundo gráfico de Máx-Mín de Cu\_AS (%) (**Figura 3.32**), con lo cual consideramos precisos los procesos de muestreo, submuestreo (preparación) y análisis químico, gerinando confiabilidad sustentada sobre los datos obtenidos.



**Fig. 3.32.** Segundo gráfico de Máx-Mín de Cu\_AS (%). **Fuente:** Del Autor (2019)

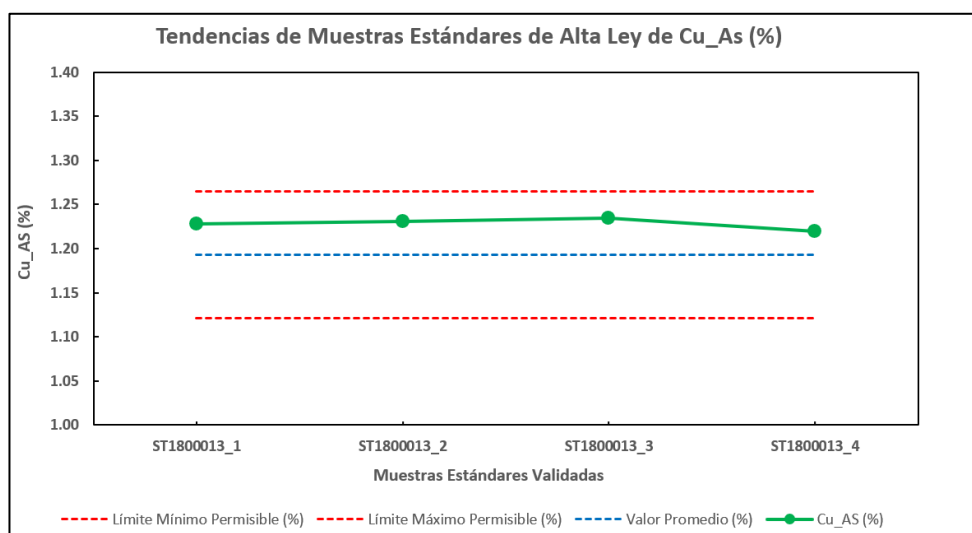
### 3.7.2. ANÁLISIS DE EXACTITUD

Para controlar este segundo parámetro de calidad, se insertaron cuatro estándares de alta ley, donde según el procedimiento en la mina Justa no deben de exceder  $\pm 2$  desviaciones estándar del promedio. Estas muestras estándar fueron preparadas con material del propio yacimiento de la mina Justa, cuyos resultados del “mejor valor” (valor promedio) y la desviación estándar fueron considerados para este análisis (**Tabla 3.12**).

Identificación de Muestra	Muestras Estándares Validadas	Límite de Detección (%)	Cu_AS (%)	Valor Promedio (%) *	Desviación Estándar (%) *	Límite Mínimo Permisible (%)	Límite Máximo Permisible (%)	Sesgo (%)
1105100031	ST1800013_1	0.01	1.228	1.193	0.036	1.121	1.265	- 0.843
1105100086	ST1800013_2	0.01	1.231	1.193	0.036	1.121	1.265	
1105100120	ST1800013_3	0.01	1.235	1.193	0.036	1.121	1.265	
1105100175	ST1800013_4	0.01	1.220	1.193	0.036	1.121	1.265	

**Tabla. 3.12.** Parámetros para analizar el nivel de exactitud del análisis químico. \*Dato obtenido del informe de ensayo para las muestras estándares de alta ley. **Fuente:** Del Autor (2019)

Los resultados de análisis para las muestras estándar no exceden los límites permisibles, pero tenemos un herramienta más práctica de realizar dicho análisis, se trata del gráfico de tendencias (**Figura 3.33**), donde estas muestras, demostraron ser exactas, ya que dichos resultados se encuentran dentro de los límites permisibles (**Tabla 3.12**), considerando exactos a los métodos analíticos utilizados en el laboratorio de la mina Justa.



**Fig. 3.33.** Tendencias de muestras estándares de Cu\_AS (%). **Fuente:** Del Autor (2019)

### 3.7.3. ANÁLISIS DE CONTAMINACIÓN

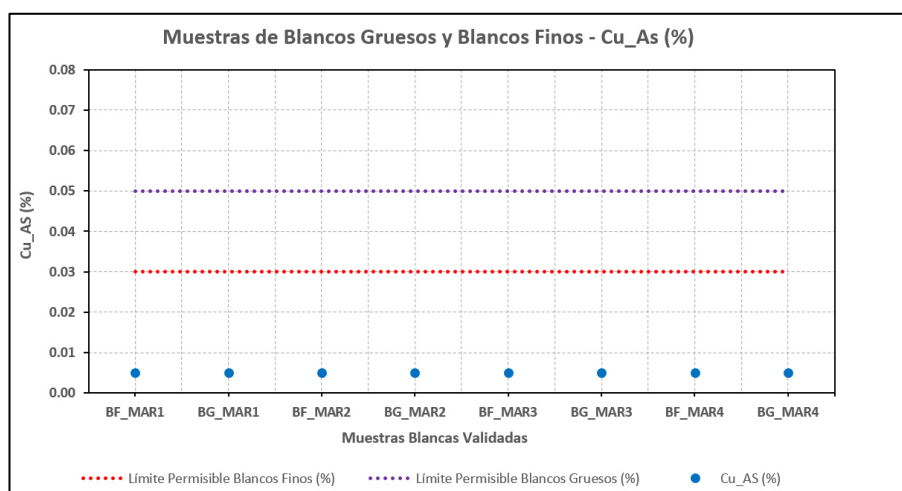
Para controlar este parámetro de calidad, se insertaron cuatro blancos finos y cuatro gruesos, que controlan la presencia de agentes contaminantes en los procesos preparación y análisis, donde se considera el nivel de contaminación significativo en los gruesos si más de un 2% de las muestras excede cinco veces ( $> 0.05\%$ ) y en los finos si más de un 2% de las muestras, excede tres veces ( $> 0.03\%$ ) el límite de detección ( $0.01\%$ ). En la **Tabla 3.13**, se observa los parámetros utilizados para analizar el nivel de contaminación.

Identificación de Muestra	Muestras Blancas Validadas	Límite de Detección (%)	Cu_AS (%)	Cu_AS (%) *	Límite Permissible Blancos Gruesos (%)	Límite Permissible Blancos Finos (%)
1105100007	BF_MAR1	0.010	<0.01	0.005	0.030	0.050
1105100008	BG_MAR1	0.010	<0.01	0.005	0.030	0.050
1105100068	BF_MAR2	0.010	<0.01	0.005	0.030	0.050
1105100069	BG_MAR2	0.010	<0.01	0.005	0.030	0.050
1105100096	BF_MAR3	0.010	<0.01	0.005	0.030	0.050
1105100097	BG_MAR3	0.010	<0.01	0.005	0.030	0.050
1105100157	BF_MAR4	0.010	<0.01	0.005	0.030	0.050
1105100158	BG_MAR4	0.010	<0.01	0.005	0.030	0.050

**Tabla. 3.13.** Parámetros para analizar el nivel de contaminación. \*Valor numérico.

**Fuente:** Del Autor (2019)

Finalmente, si planteamos los límites permisibles para los blancos gruesos y finos, y a su vez planteamos los valores obtenidos de las muestras blancas, podremos gráficamente identificar si existe algún agente contaminante como se observa en la **Figura 3.34**, quedando demostrado que ninguna muestra blanca supera su límite permisible, así los procesos de submuestreo (preparación) y análisis químico se encuentran libres de contaminación.



**Fig. 3.34.** Valores de Cu\_AS(%) de blancos gruesos y finos. **Fuente:** Del Autor (2019)

Así es que controlados los parámetros de precisión, exactitud y contaminación, mediante los análisis previos basados en las inserciones de muestras de control, quedan asegurados los procesos de muestreo, submuestreo (preparación) y análisis químico, debido a que se obtuvieron resultados dentro de los límites permisibles, quedando validados todos los resultados analíticos para continuar con el presente análisis.

## **CAPÍTULO IV**

### **DEMOSTRACIÓN DE LAS HIPÓTESIS**

#### **4.1. REPRESENTATIVIDAD DE LA LEY SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA**

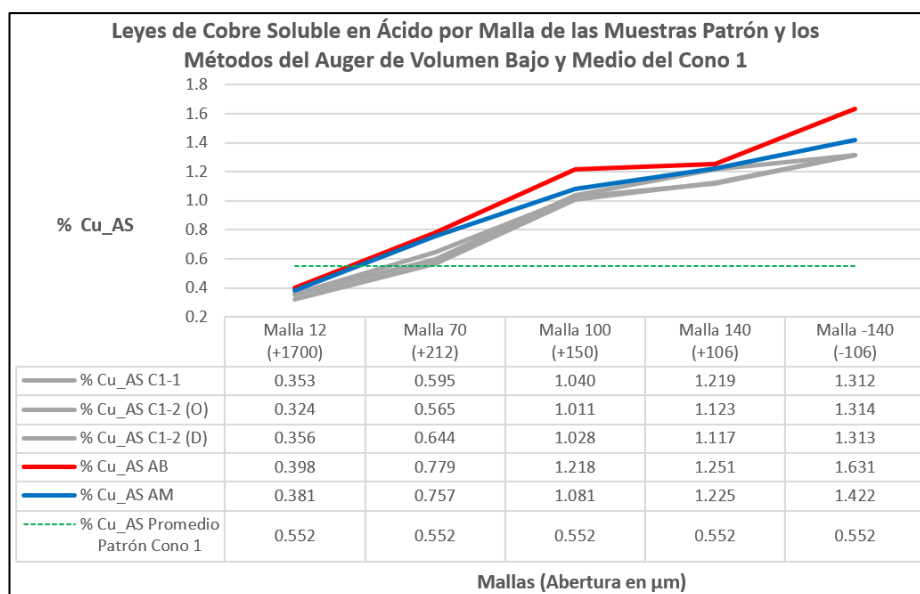
En cada cono muestreado, se realizó un gráfico que refleje la variabilidad existente de la ley de cobre soluble en cada tamaño de grano retenido en las mallas, verificando que resultados representativos de un volumen mayor tendríamos, si no realizamos un muestreo equiprobable, generando datos irreales si muestreamos solo detritos muy finos o muy gruesos.

##### **4.1.1. REPRESENTATIVIDAD DE LA LEY SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DEL CONO 1**

Se observa que las leyes son relativamente homogéneas, teniendo menor variabilidad (0.324 a 0.398% Cu\_AS) en la malla 12 y mientras más pequeño es el tamaño del detrito hay mayor variabilidad. Así mismo, según los patrones sin tamizar, de las muestras estándar o patrón, se tiene un promedio de 0.552% Cu\_As, teniendo una subestimación de ley si sólo o en su mayoría muestrearíamos el tamaño de grano mayor a 1700 micras, mientras que si sólo o en su mayoría muestrearíamos el tamaño de grano menor a 150 micras, siendo el tamaño de grano más cercano a este promedio el de 212 micras (malla 70), ver **Figura 4.1.**

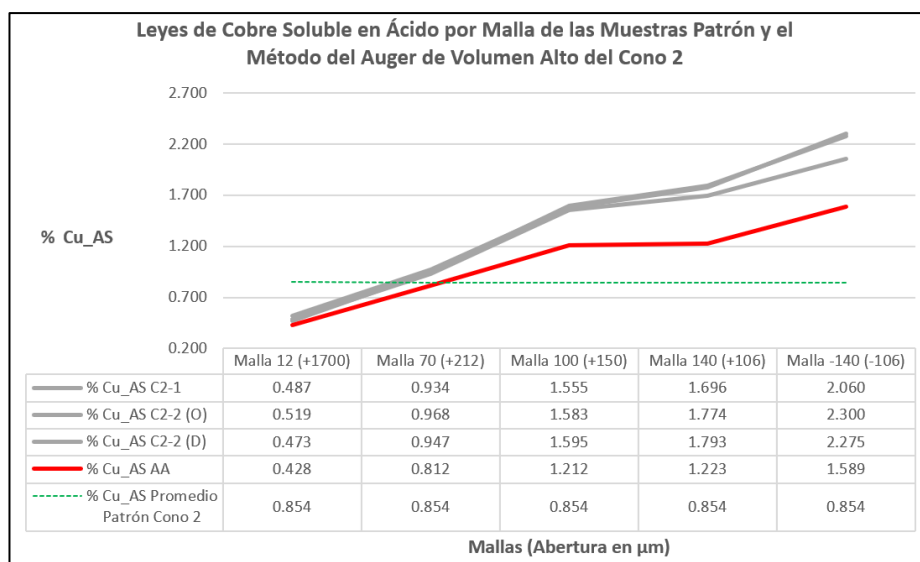
##### **4.1.2. REPRESENTATIVIDAD DE LA LEY SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DEL CONO 2**

En el cono 2, obtuvimos resultados parecidos al cono 1 respecto a tener menor variabilidad (0.428 a 0.519% Cu\_AS) en la malla 12, y mientras más pequeño es



**Fig. 4.1.** Leyes de cobre soluble en ácido por malla del cono 1. **Fuente:** Del Autor (2019)

el tamaño del detrito observamos mucho mayor variabilidad, así mismo encontramos en la malla 70 el tamaño de grano con resultados más cercanos al promedio del patrón del cono (0.854% Cu\_AS), pero en esta ocasión, mientras más fino es el detrito observamos que el método de muestreo del auger de volumen alto subestima la ley obtenida (**Figura 4.2**).



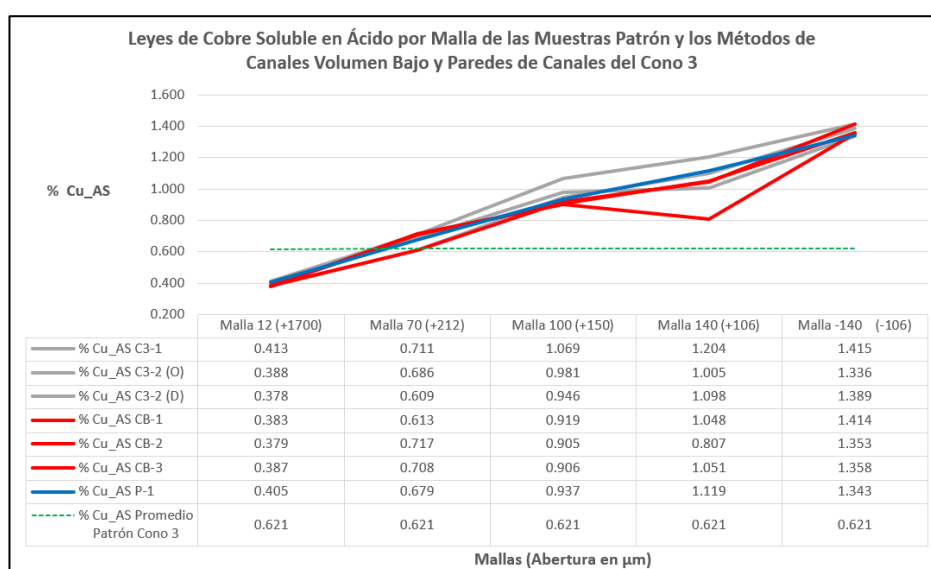
**Fig. 4.2.** Leyes de cobre soluble en ácido por malla del cono 2. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### 4.1.3. REPRESENTATIVIDAD DE LA LEY SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DEL CONO 3

En el cono 3, observamos nuevamente resultados parecidos al cono 1 respecto a tener menor variabilidad (0.378 a 0.413% Cu\_AS) en la malla 12, y mientras más pequeño es el tamaño del detrito observamos mayor variabilidad de las leyes

obtenidas, así mismo encontramos en la malla 70 el tamaño de grano con resultados más cercanos al promedio del patrón del cono (0.621% Cu\_AS), lo que resalta son los resultados obtenidos por el método de paredes de canales (P-1), los cuales son muy similares al promedio de los obtenidos por el patrón del cono.

Esto último refleja que el método de paredes de canales es una buena opción para el muestreo en cuanto sus resultados estimados de las leyes obtenidas son similares a los obtenidos por el promedio del patrón (1500 kg procesados), mientras que el método de canales de volumen bajo tiene valores aceptables en todas las mallas excepto en la malla 140, donde tenemos un desfase con un resultado sesgado (**Figura 4.3**).



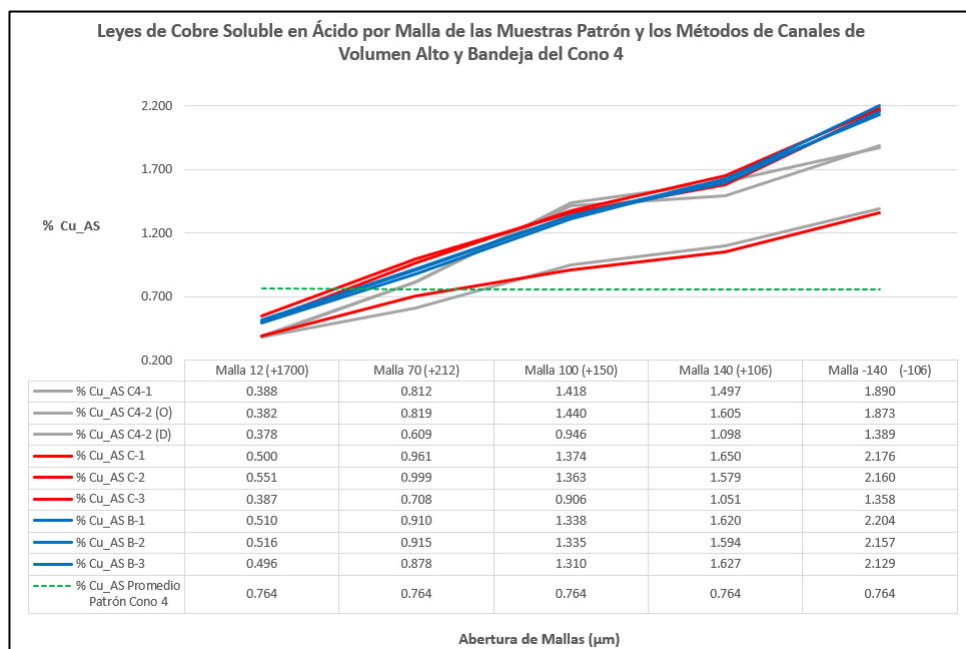
**Fig. 4.3.** Leyes de cobre soluble en ácido por malla del cono 3. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### 4.1.4. REPRESENTATIVIDAD DE LA LEY SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DEL CONO 4

Finalmente, en el último cono, se obtienen resultados parecidos al cono 1 respecto a tener menor variabilidad (0.378 a 0.551% Cu\_AS) en la malla 12, y mientras más pequeño es el tamaño del detrito hay mucha mayor variabilidad de las leyes obtenidas.

Así mismo en la malla 70 el tamaño de grano tiene resultados más cercanos al promedio del patrón del cono (0.764% Cu\_AS), lo que podemos apreciar es que existe mucha variabilidad en los detritos más finos (menores a 106 micras), con valores de entre 1.358 a 2.204% Cu\_AS, lo cual refleja el cuidado que hay que

tener si se muestrea sólo o en su mayoría los detritos más finos del cono. A su vez observamos que el método de muestreo de la bandeja tiene una tendencia a sobreestimar el valor de las leyes de cobre soluble en ácido (**Figura 4.4**).



**Fig. 4.4.** Leyes de cobre soluble en ácido por malla del cono 4. **Fuente:** Del Autor (2019)

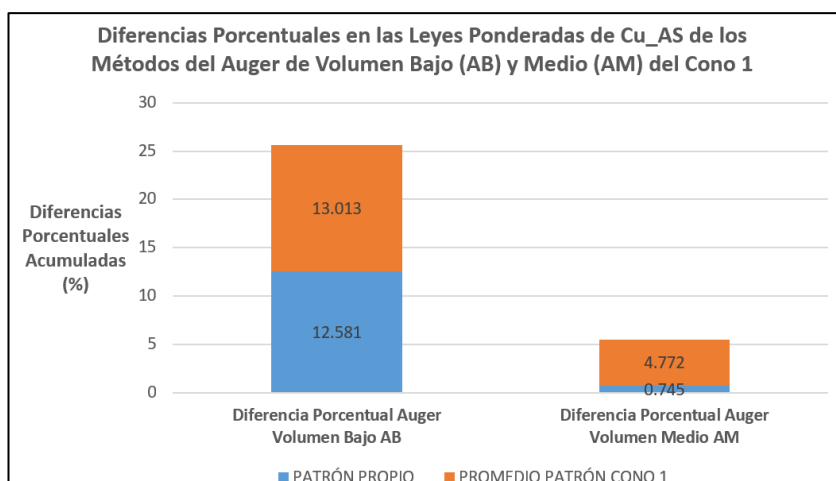
## 4.2. DIFERENCIAS PORCENTUALES DE LEYES PONDERADAS

### 4.2.1. DIFERENCIAS PORCENTUALES DE LEYES PONDERADAS DEL CONO 1

Se obtiene al comparar con su patrón propio de cada método, 12.581% para el AB y 0.745% para el AM, y al momento de comparar estas mismas leyes ponderadas con el promedio de patrón del cono 1 se obtienen las diferencias porcentuales de 13.013% para el AB y 4.772% para el AM.

Estas diferencias porcentuales acumuladas se pueden presentar gráficamente para tener una mejor idea de cómo se diferencian ambos métodos analizados, confirmando que menor diferencias porcentuales tiene el método del auger de volumen medio en comparación al de volumen bajo en el cono 1 (**Figura 4.5**).

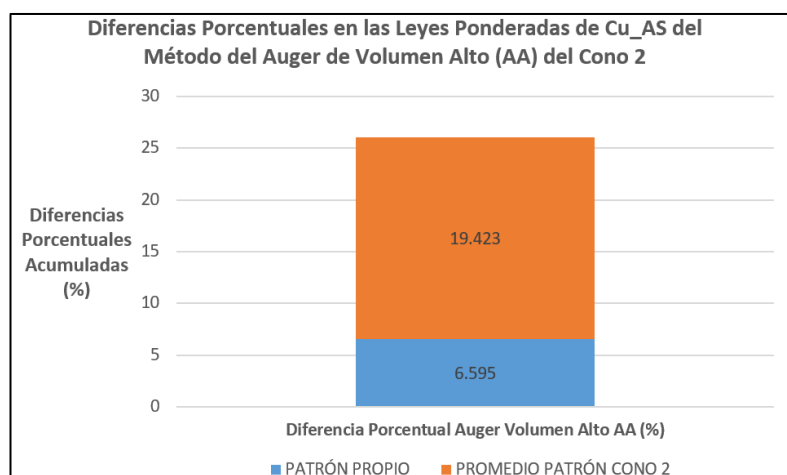




**Fig. 4.5.** Gráfico de diferencias porcentuales acumuladas del cono 1. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### 4.2.2. DIFERENCIAS PORCENTUALES DE LEYES PONDERADAS DEL CONO 2

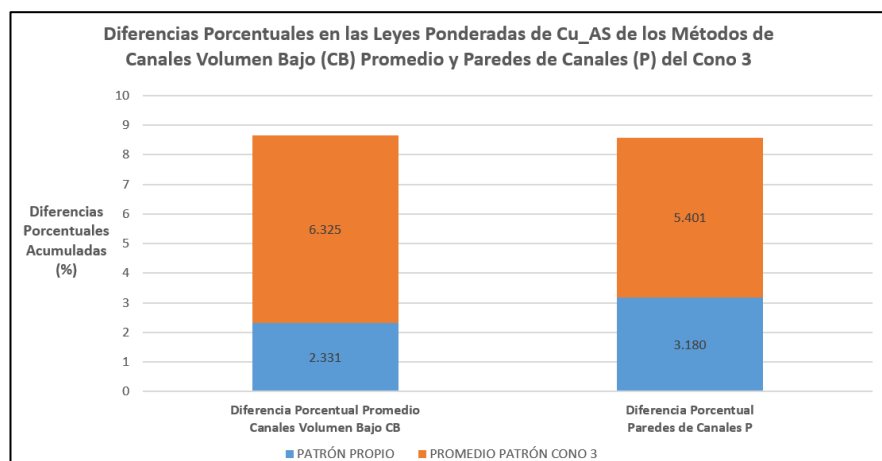
Se observa la diferencia porcentual de la ley ponderada (0.688% Cu\_AS para el AA) comparada con su patrón propio (0.737% Cu\_AS) es 6.595%, y al momento de comparar esta ley ponderada con el promedio de patrón del cono 2 se obtiene la diferencia porcentual de 19.423% (**Figura 4.6**).



**Fig. 4.6.** Gráfico de diferencias porcentuales acumuladas del cono 2. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### 4.2.3. DIFERENCIAS PORCENTUALES DE LEYES PONDERADAS DEL CONO 3

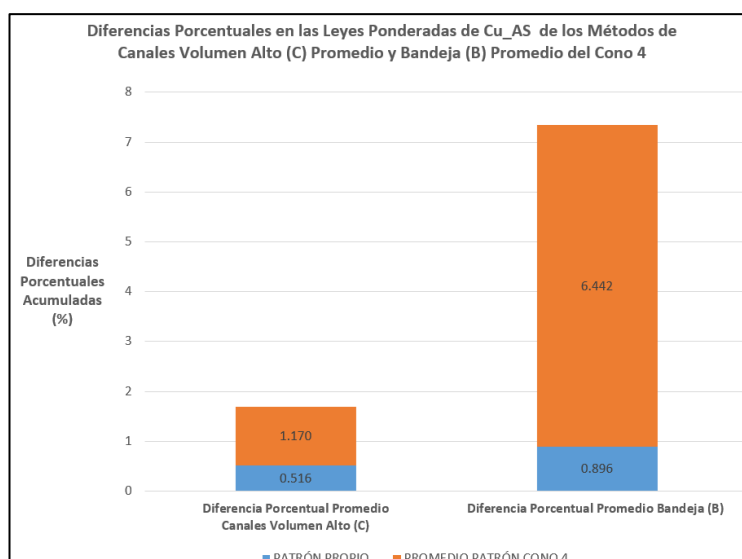
Las diferencias porcentuales comparadas con su patrón propio son 2.331% para el CB y 3.18% para el P, y al momento de compararlas con el promedio de patrón del cono 3 se obtienen las diferencias porcentuales de 6.325% para el CB y 5.401% para el P, lo cual también se aprecia en la **Figura 4.7**.



**Fig. 4.7.** Gráfico de diferencias porcentuales acumuladas del cono 3. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### 4.2.4. DIFERENCIAS PORCENTUALES DE LEYES PONDERADAS DEL CONO 4

Las diferencias porcentuales de las leyes ponderadas (0.755% Cu\_AS para el C y 0.715% Cu\_AS para el B) comparadas con el patrón propio de cada método analizado (0.751% Cu\_AS para el CB y 0.721% Cu\_AS para el P) son 0.516% para el C y 0.896% para el B, y al momento de comparar estas mismas leyes ponderadas con el promedio de patrón del cono 4 se obtienen las diferencias porcentuales de 1.17% para el C y 6.442% para el B, graficado en la **Figura 4.8**, donde el método de la bandeja tiende a sobreestimar la ley de Cu\_AS.



**Fig. 4.8.** Gráfico de diferencias porcentuales acumuladas del cono 4. **Fuente:** Del Autor (2019)

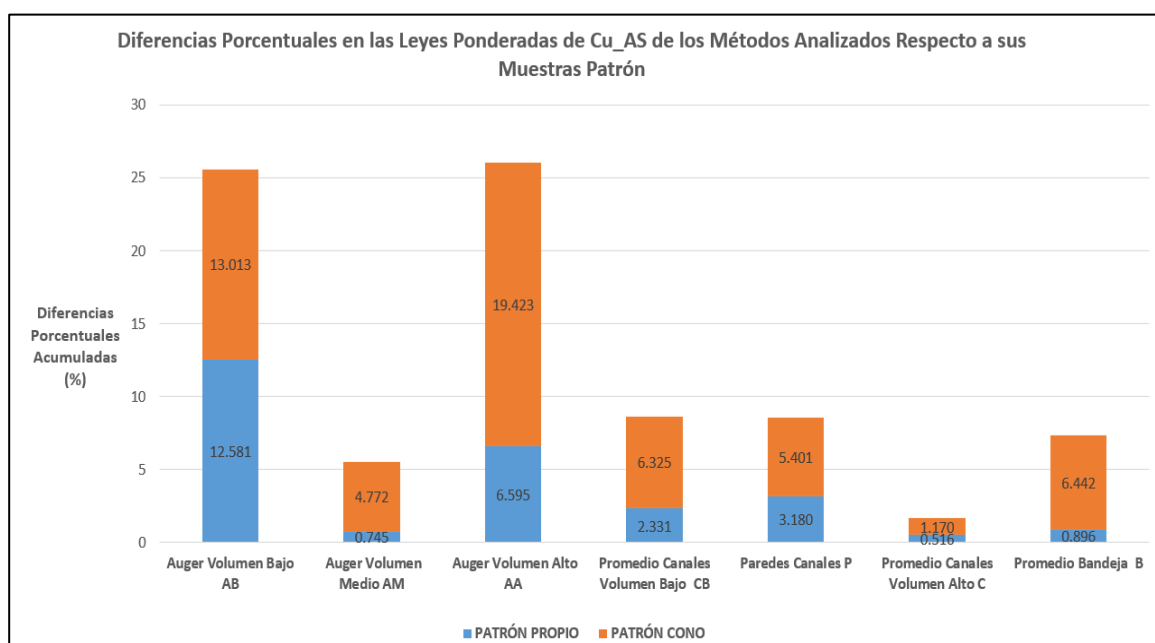
#### 4.2.5. DIFERENCIAS PORCENTUALES DE LEYES PONDERADAS DE TODOS LOS MÉTODOS ANALIZADOS

Al agrupar las diferencias porcentuales ponderadas, podremos hacer una primera comparación de cuáles son los mejores métodos de muestreo, es así que tenemos en primera ubicación el método de canales de volumen alto (C) con un valor de 1.17%, seguido del método del auger de volumen medio (AM) con un valor de 4.772% (**Tabla 4.1**).

TIPO DE MUESTRA PATRÓN	Auger Volumen Bajo AB (%)	Auger Volumen Medio AM (%)	Auger Volumen Alto AA (%)	Promedio Canales Volumen Bajo CB (%)	Paredes Canales P (%)	Promedio Canales Volumen Alto C (%)	Promedio Bandeja B (%)
PATRÓN PROPIO	12.581	0.745	6.595	2.331	3.180	0.516	0.896
PATRÓN CONO	13.013	4.772	19.423	6.325	5.401	1.170	6.442
POSICIÓN	6º	2º	7º	4º	3º	1º	5º

**Tabla. 4.1.** Cuadro comparativo de diferencias porcentuales de todos los métodos analizados. **Fuente:** Del Autor (2019)

Así mismo podemos graficar estos resultados para un mejor entendimiento, donde las barras de menor tamaño son de aquellos métodos que tienen menores diferencias porcentuales, resaltando el método de canales de volumen alto (C), seguido del método del auger de volumen medio (AM) (**Figura 4.9**).



**Fig. 4.9.** Gráfico de diferencias porcentuales acumuladas de todos los métodos analizados, comparación con el patrón propio y promedio del patrón del cono. **Fuente:** Del Autor (2019)

### 4.3. LEYES PONDERADAS DE COBRE SOLUBLE EN ÁCIDO DE LOS MÉTODOS ANALIZADOS EN CADA MALLA

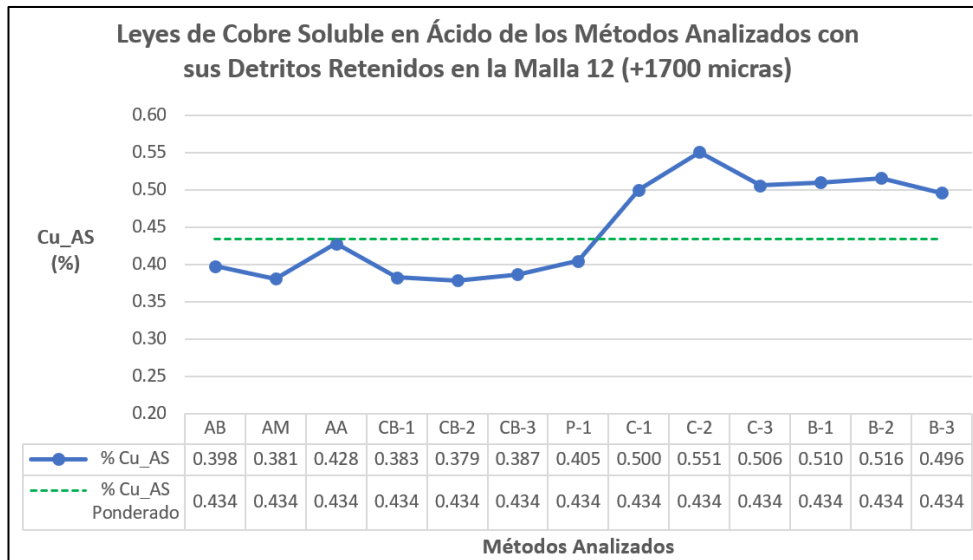
Para esta comparación global se juntaron los resultados de análisis químicos y se realizó un gráfico de comparación por malla, teniendo como valor referencial para cada malla al promedio de la ley ponderada (**Tabla 4.2**), con la intención de presentar los resultados independientes de cada método y ver cuál es el que se aproxima más al valor del promedio ponderado, lo cual nos ayudaría desde este criterio a decidir qué método o métodos representan mejor a la población total.

MÉTODO	Malla 12 (+1700)		Malla 70 (+212)		Malla 100 (+150)		Malla 140 (+106)		Malla -140 (-106)		Muestras Sin Tamizar		Ponderado Por Método	
	Peso de muestra (g)	% Cu_AS	Peso de muestra (g)	% Cu_AS	Peso de muestra (g)	% Cu_AS	Peso de muestra (g)	% Cu_AS	Peso de muestra (g)	% Cu_AS	Peso de muestra (g)	% Cu_AS	Peso de muestra total (g)	% Cu_AS Ponderado Total
C1-1	2278	0.353	2081	0.595	133	1.040	84	1.219	150	1.312	1253	0.563	5979	0.533
C1-2(O)	1976	0.324	1751	0.565	105	1.011	85	1.123	145	1.314	1103	0.556	5165	0.510
C1-2(D)	2008	0.356	1764	0.644	117	1.028	85	1.117	151	1.313	906	0.533	5031	0.546
AB	2015	0.398	1433	0.779	83	1.218	68	1.251	141	1.631	1016	0.714	4756	0.643
AM	2593	0.381	1755	0.757	82	1.081	61	1.225	141	1.422	1224	0.583	5856	0.580
C2-1	2151	0.487	2456	0.934	164	1.555	112	1.696	165	2.060	1250	0.824	6298	0.819
C2-2(O)	2706	0.519	2550	0.968	180	1.583	120	1.774	430	2.300	1597	0.873	7583	0.891
C2-2(D)	2570	0.473	2290	0.947	150	1.595	110	1.793	380	2.275	1420	0.846	6920	0.851
AA	2050	0.428	1320	0.812	100	1.212	90	1.223	300	1.589	980	0.737	4840	0.698
C3-1	2380	0.413	1720	0.711	120	1.069	100	1.204	300	1.415	1190	0.616	5810	0.622
C3-2(O)	2470	0.388	3010	0.686	220	0.981	150	1.005	490	1.336	1610	0.66	7950	0.642
C3-2(D)	2290	0.378	2770	0.609	220	0.946	150	1.098	480	1.389	1540	0.583	7450	0.603
CB-1	2390	0.383	2020	0.613	110	0.919	80	1.048	260	1.414	1280	0.559	6140	0.557
CB-2	2720	0.379	1830	0.717	100	0.905	60	0.807	420	1.353	1220	0.573	6350	0.590
CB-3	2570	0.387	1610	0.708	95	0.906	78	1.051	360	1.358	1230	0.655	5943	0.605
P-1	1710	0.405	1080	0.679	72	0.937	53	1.119	210	1.343	700	0.569	3825	0.584
C4-1	2430	0.388	1400	0.812	91	1.418	40	1.497	120	1.890	1110	0.779	5191	0.647
C4-2(O)	2080	0.382	1550	0.819	90	1.440	30	1.605	260	1.873	1030	0.763	5040	0.697
C4-2(D)	2130	0.469	1590	0.884	80	1.357	170	1.547	310	1.953	910	0.747	5190	0.783
C-1	2550	0.500	1280	0.961	60	1.374	50	1.650	180	2.176	1060	0.745	5180	0.744
C-2	2800	0.551	1350	0.999	60	1.363	50	1.579	190	2.160	1120	0.767	5570	0.776
C-3	2620	0.506	1320	0.967	60	1.299	60	1.620	170	2.140	1080	0.741	5310	0.742
B-1	2250	0.510	1050	0.910	50	1.338	40	1.620	170	2.204	920	0.741	4480	0.735
B-2	2690	0.516	1120	0.915	50	1.335	50	1.594	180	2.157	1040	0.709	5130	0.718
B-3	2660	0.496	1090	0.878	50	1.310	50	1.627	170	2.129	1010	0.716	5030	0.697
SUMA/POND.	59087	0.434	43190	0.783	2642	1.196	2026	1.346	6273	1.714	28799	0.688	142017	0.676

**Tabla. 4.2.** Leyes ponderadas de métodos analizados en cada malla. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### 4.3.1. LEYES DE MÉTODOS Y PROMEDIO PONDERADO EN MALLA 12

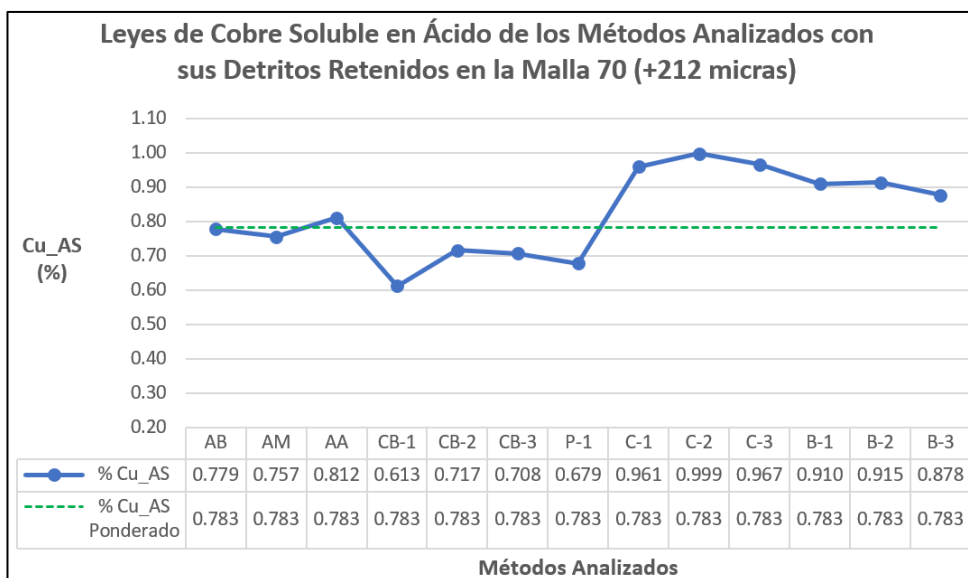
El método del auger de volumen alto tiene el mejor resultado de 0.428%, en segunda ubicación está el método de paredes de canales con 0.405%, y en tercer lugar al auger de volumen bajo con 0.398% (**Figura 4.10**).



**Fig. 4.10.** Leyes de métodos y promedio ponderado en la malla 12. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### 4.3.2. LEYES DE MÉTODOS Y PROMEDIO PONDERADO EN MALLA 70

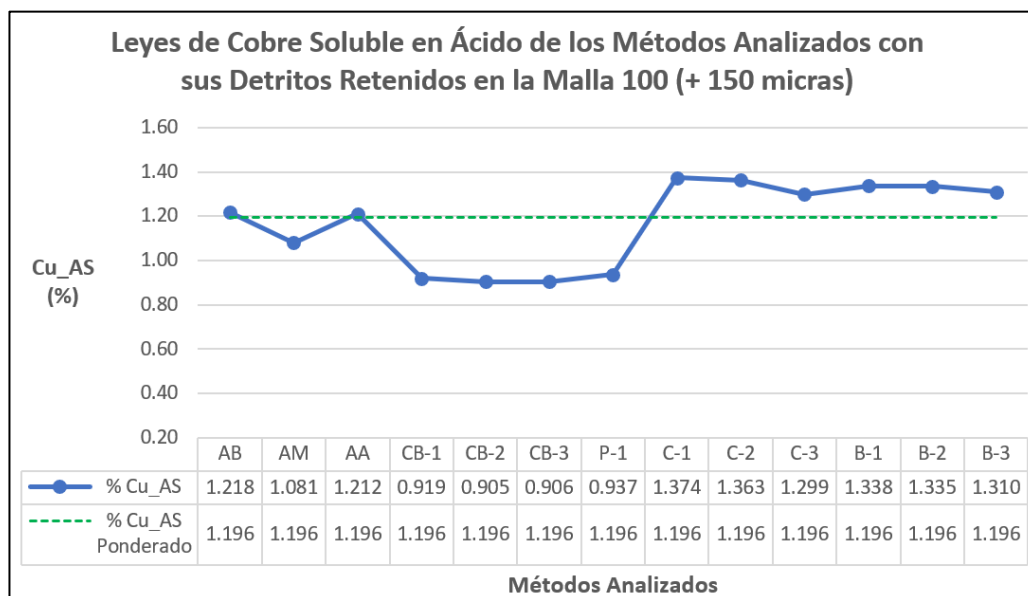
El método del auger de volumen bajo tiene el mejor resultado de 0.779%, en segunda ubicación está el método del auger de volumen medio con 0.757%, y en tercer lugar al auger de volumen alto con 0.812% Cu\_AS (**Figura 4.11**).



**Fig. 4.11.** Leyes de métodos y promedio ponderado en la malla 70. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### 4.3.3. LEYES DE MÉTODOS Y PROMEDIO PONDERADO EN MALLA 100

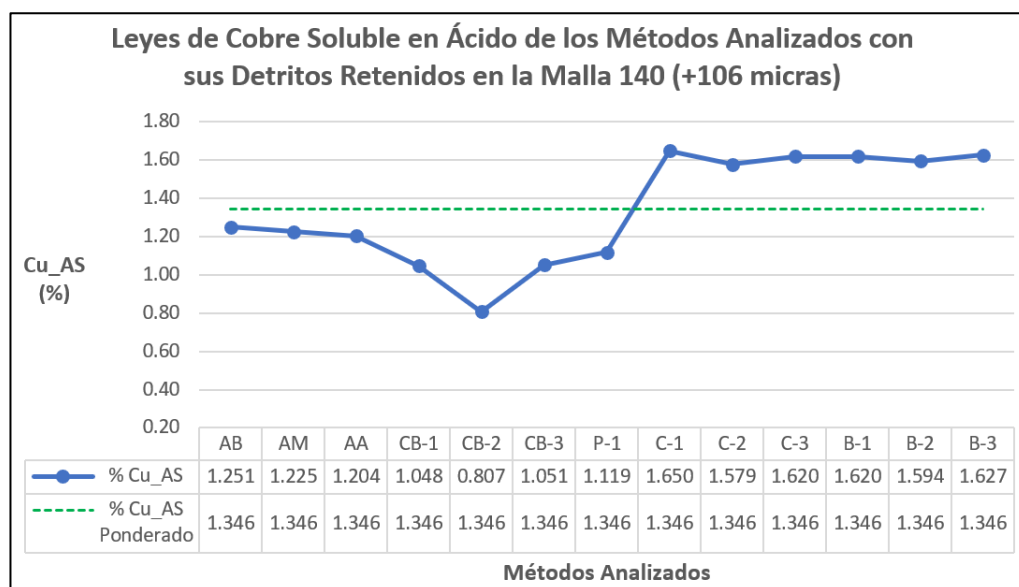
El método del auger de volumen alto tiene el mejor resultado de 1.212%, en segunda ubicación está el método del auger de volumen bajo con 1.218%, y en tercer lugar al auger de volumen medio con 1.081% Cu\_AS (**Figura 4.12**).



**Fig. 4.12.** Leyes de métodos y promedio ponderado en la malla 100. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### 4.3.4. LEYES DE MÉTODOS Y PROMEDIO PONDERADO EN MALLA 140

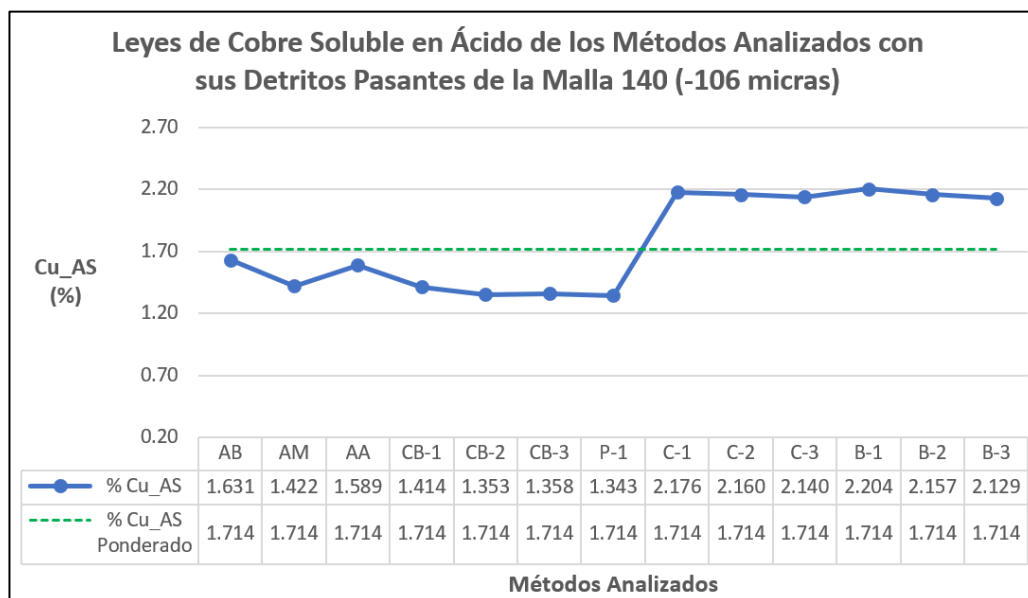
El método del auger de volumen bajo tiene el mejor resultado de 1.251%, en segunda ubicación está el método del auger de volumen medio con 1.225%, y en tercer lugar al auger de volumen alto con 1.204% (**Figura 4.13**).



**Fig. 4.13.** Leyes de métodos y promedio ponderado en la malla 140. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### 4.3.5. LEYES DE MÉTODOS Y PROMEDIO PONDERADO EN MALLA -140

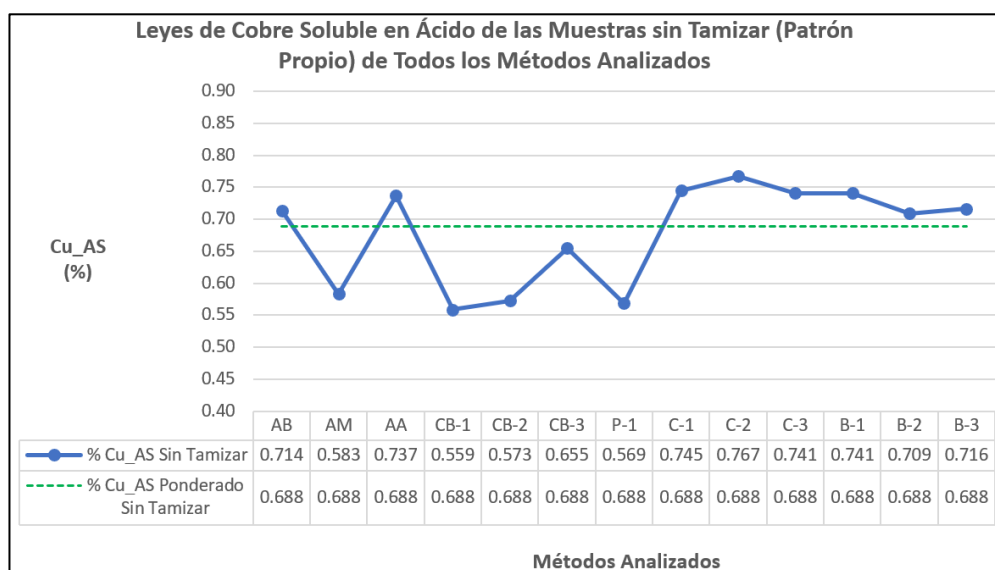
El método del auger de volumen bajo tiene el mejor resultado de 1.631%, en segunda ubicación está el método del auger de volumen alto con 1.589%, y en tercer lugar al auger de volumen medio con 1.422% (**Figura 4.14**).



**Fig. 4.14.** Leyes de métodos y promedio ponderado en la malla -140. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### 4.3.6. LEYES DE MUESTRAS SIN TAMIZAR DE MÉTODOS ANALIZADOS

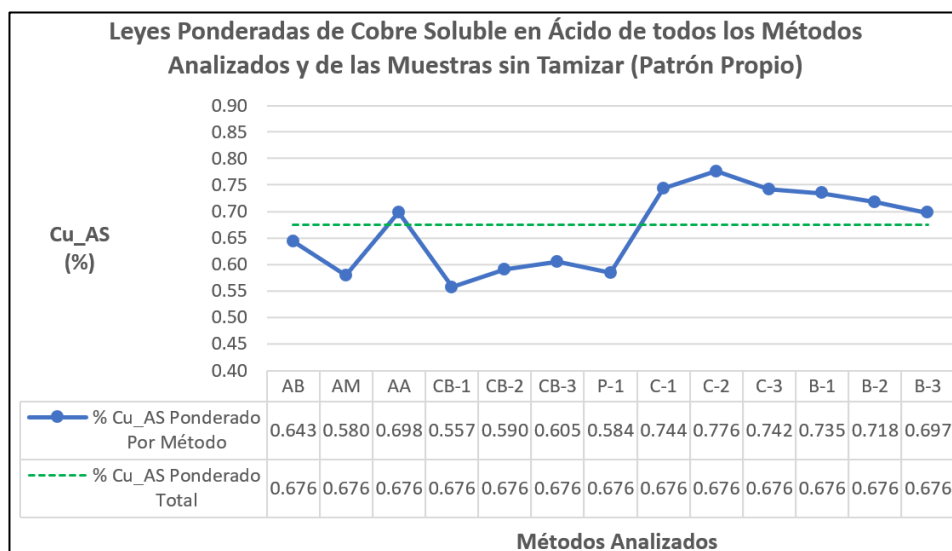
El método del auger de volumen bajo tiene el mejor resultado de 0.714%, en segunda ubicación está el promedio del método de la bandeja con 0.722%, y en tercer lugar al auger de volumen alto con 0.737% Cu\_AS (**Figura 4.15**).



**Fig. 4.15.** Leyes de muestras sin tamizar (patrón propio). **Fuente:** Del Autor (2019)

#### 4.3.7. LEYES DE MÉTODOS Y PROMEDIO PONDERADO TOTAL

El método del auger de volumen alto tiene el mejor resultado de 0.698%, en segunda ubicación está el método del auger de volumen bajo con 0.643%, y en tercer lugar a la bandeja con un promedio de 0.716% (**Figura 4.16**).



**Fig. 4.16.** Leyes promedio de métodos y promedio ponderado total. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### 4.4. DEMOSTRACIÓN DE LA PRIMERA HIPOTESIS

Con estos análisis demostré la primera hipótesis de que si existe relación entre el método de muestreo y la proporción granulométrica de muestra obtenida, afectando las leyes de millones de toneladas, y alcanzo el primer objetivo al desarrollar un programa de muestreo sugeridos a evaluar, resumiendo estas comparaciones y resultando el auger como el mejor método (**Tabla 4.3**).

Criterio de Análisis	Auger Volumen Bajo AB	Auger Volumen Medio AM	Auger Volumen Alto AA	Promedio Canales Volumen Bajo CB	Paredes Canales P	Promedio Canales Volumen Alto C	Promedio Bandeja B
Malla 12	3	5	1	4	2	7	6
Malla 70	1	2	3	4	5	7	6
Malla 100	2	3	1	7	6	5	4
Malla 140	1	2	3	7	4	6	5
Malla -140	1	3	2	4	5	6	7
Sin Tamizar	1	6	3	5	7	4	2
Total	2	7	1	6	5	4	3
PROMEDIO	1.6	4.0	2.0	5.3	4.9	5.6	4.7
POSICIÓN FINAL	1º	3º	2º	5º	4º	6º	7º

**Tabla. 4.3.** Cuadro comparativo de las posiciones de los métodos de muestreo analizados. **Fuente:** Del Autor (2019)



## 4.5. ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD SUGERIDO

Se sugiere un programa de aseguramiento y control de la calidad que considere los objetivos ya mencionados de prevenir, detectar y validar datos confiables.

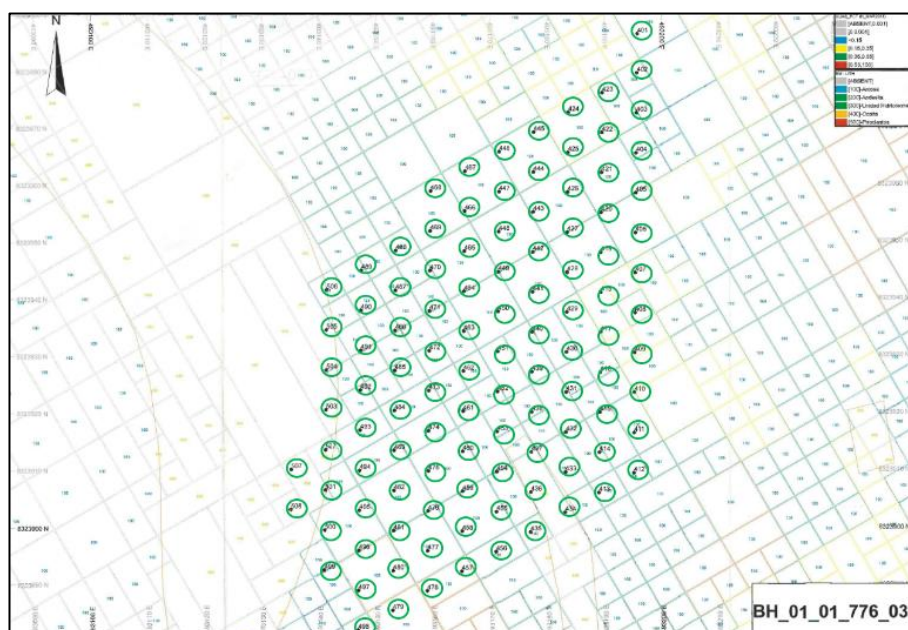
Es así como el aseguramiento de la calidad lleva implícita la idea de prevención, mientras que el control de la calidad se relaciona con la detección de problemas.

Esta sugerencia de control de calidad consiste en la inserción de muestras de control, aplicando la técnica del “muestreo aleatorio estratificado. Para la generación de las órdenes de trabajo para ensaye, debe tomarse en cuenta los criterios de inserción de muestras de control para elevar los niveles de confiabilidad de los procesos de conminución y los procesos de análisis químico.

### 4.5.1. PROTOCOLO SUGERIDO DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

#### 4.5.1.1. ZONAS DE MINERAL

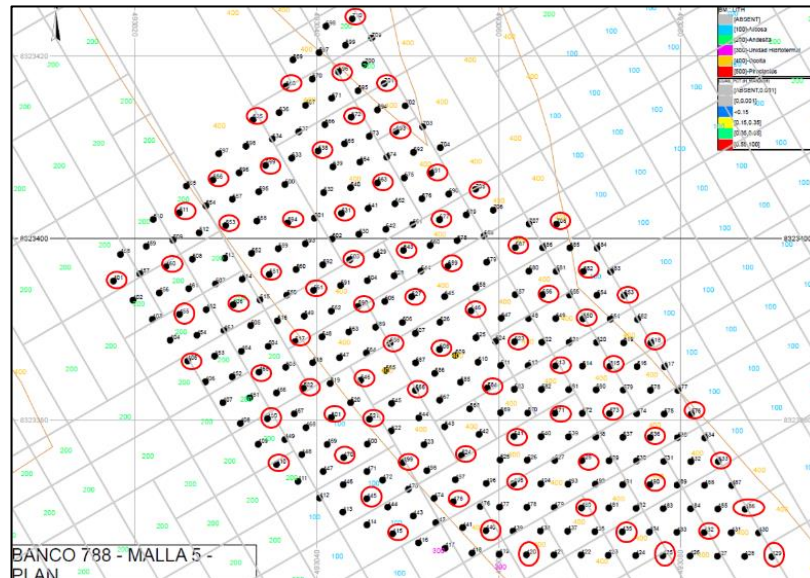
En los proyectos de perforación (mallas de perforación), donde según el modelo de bloques se tienen sólo taladros de mineral, se debe de realizar el muestreo al 100% de los taladros (**Figura 4.17**).



**Fig. 4.17.** Esquema de muestreo en zonas de mineral. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### 4.5.1.2. ZONAS DE DESMONTE

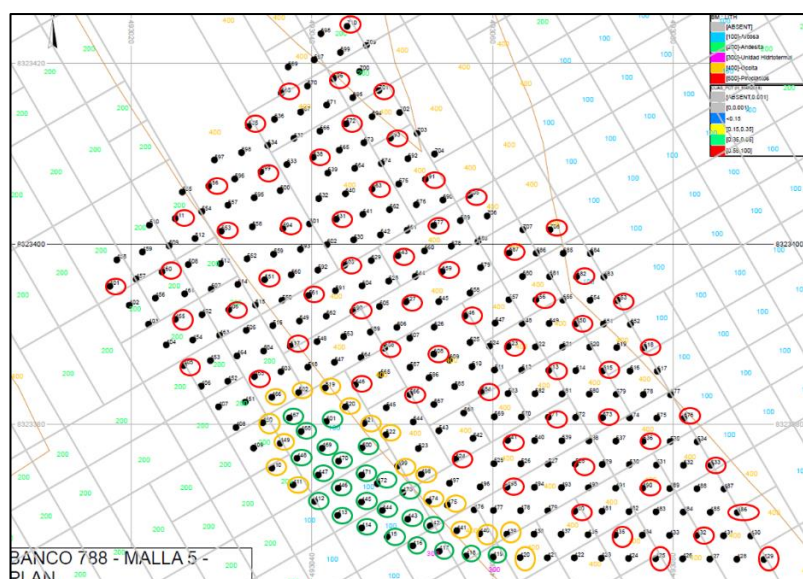
Si según el modelo de bloques se tienen taladros de desmonte, confirmado por el logueo del Geólogo, el 20% de taladros serán muestreados (**Figura 4.18**).



**Fig. 4.18.** Esquema de muestreo representativo en zonas de desmonte. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### 4.5.1.3. LOGUEADAS COMO MINERAL EN ZONAS DE DESMONTE

Cuando, según el modelo de bloques se tiene desmonte, pero el Geólogo de logueo, detecta mineral, primero se recolecta todos los taladros con mineral, luego una fila más que esta entre la zona de mineral encontrada y el desmonte y finalmente del resto sin mineral, el 20% serán muestreados (**Figura 4.19**).

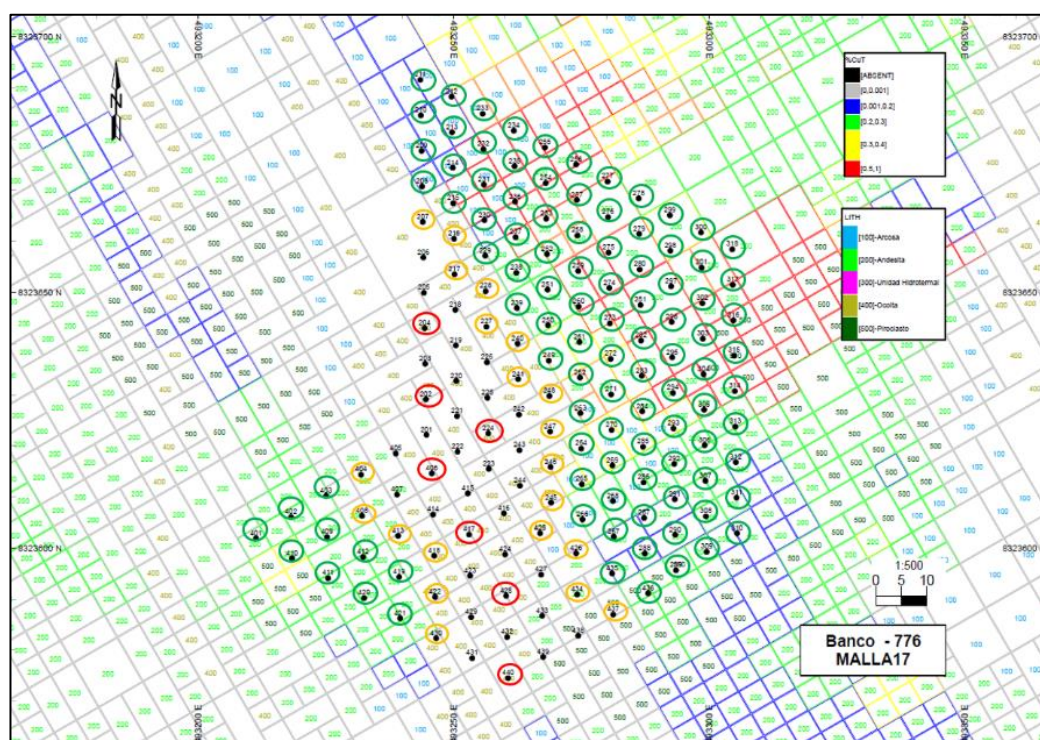


**Fig. 4.19.** Esquema de muestreo en zonas de desmonte donde el logueo detectó mineral. **Fuente:** Del Autor (2019)



#### 4.5.1.4. ZONAS DE MINERAL Y DESMONTE

Si según el modelo de bloques se tienen taladros tanto de mineral como desmonte, se procede primero a muestrear el 100% de taladros con mineral (incluidos los detectados por el Geólogo), luego se agrega una fila más en el contacto de mineral con desmonte y finalmente del resto de taladros de desmonte se procede a muestrear el 20% de manera representativa (equidistante) (**Figura 4.20**).



**Fig. 4.20.** Esquema de muestreo en zonas de mineral y desmonte en contacto.  
**Fuente:** Del Autor (2019)

#### 4.5.2. PROCESO DE PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Para entender mejor cómo de 1500 kg de detritos acumulados en el cono, se reducen a 1,5 g de muestra preparada para el análisis químico, presentamos el proceso por el cual se prepara dicha muestra (**Figura 4.21**).

El producto final es una fracción de muestra a menor tamaño de partícula y a menor volumen, la extracción de esta fracción de muestra debe ser “equiprobabilística”, es decir que corresponda a una selección con distribución de probabilidad uniforme para todos los elementos de la muestra inicial (cono de perforación) y probabilidad cero para elementos externos.



**Fig. 4.21.** Esquema general del proceso de preparación de muestras. **Fuente:** Del Autor (2019)

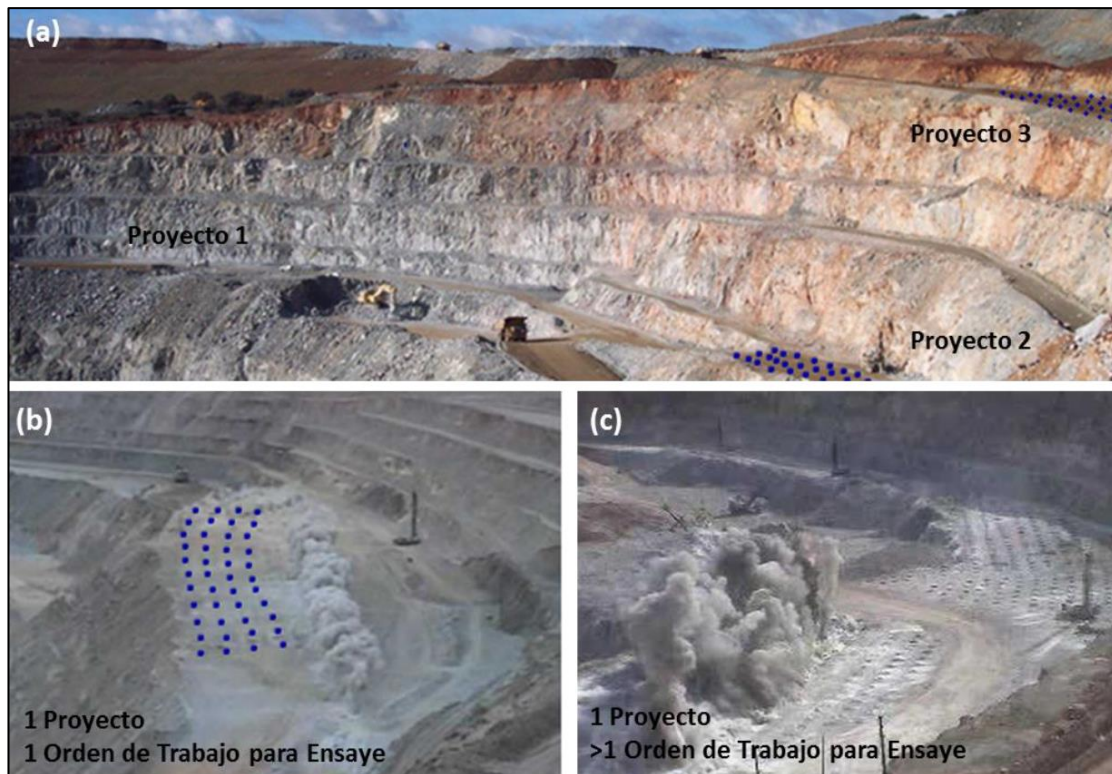
#### 4.5.3. GENERACIÓN DE ORDEN DE TRABAJO PARA ENSAYE

La orden de trabajo para ensaye es un documento con información de requerimientos de procesos químicos en los que serán sometidas las muestras de detritos, que son detalladas en su formato respectivo, para lo cual se debe de tomar en cuenta las siguientes consideraciones para la generación de este:

- **Número de muestras para una orden de trabajo para ensaye:** En un proyecto de perforación de voladura, el tamaño de un lote de muestras está sujeto a factores operativos, los tiempos y la presión de la operación para obtener las leyes del proyecto a minar, esto hace que el tamaño de lote de muestras no sea constante (**Figuras 4.22 a y b**).
- **Número de órdenes de trabajos para ensaye para un mismo proyecto de perforación para voladura:** Un proyecto de perforación para voladura es un proyecto operativo de carguío, de chancado, de molienda, de flotación, de recuperación, de relave pero antes es un proyecto para preparación de muestra (conminución) y un proyecto para análisis químico. Una orden de trabajo para ensaye y de preparación de muestra debe realizarse en un tiempo y espacio con las mismas condiciones (equipos, personal, instalaciones, procedimientos, circunstancias, etc.), para realizar una medición real de los niveles de aceptabilidad de las muestras de control en las diferentes etapas de trabajo. Sin embargo, por

diversos factores operativos un proyecto de perforación para voladura puede tener más de una orden de trabajo para ensaye (**Figura 4.22 c**).

- **Varios proyectos de perforación para voladura en un mismo turno:**  
Es común tener que muestrear en distintos proyectos de perforación en un mismo turno, para lo cual se sugiere que por proyecto se realice una orden de ensaye (**Figura 4.22 a**).



**Fig. 4.22.** Diferentes proyectos de perforación. (a) varios proyectos en un mismo turno, (b) un proyecto genera una orden para ensaye y (c) un proyecto más de dos órdenes.

**Fuente:** Compañía Minera Antapaccay, Tajo Sur (2017).

Generar una orden de trabajo para ensaye es más que un procedimiento mecánico establecido, es generar un proceso seguro y controlado para obtener valores de leyes con un alto grado de confiabilidad.

#### 4.5.4. MUESTRAS CONTROL POR PROCESOS Y PARÁMETROS CONTROLADOS

El programa de control de la calidad tiene como objetivo determinar las medidas de control necesarias para minimizar los errores de los resultados finales, lo cual implica la cuantificación y un monitoreo de los niveles de exactitud, precisión, contaminación y determinar un diagnóstico oportuno de las muestras error y la



identificación de la fuente de error, en base a los parámetros controlados y el proceso que se busca controlar (**Tabla 4.4**), teniendo una relación muy elevada de errores el proceso de muestreo primario (recolección de muestras en campo), disminuyendo en el submuestreo (conminución), siendo mínimo en el proceso del análisis químico (Canchaya, 2018).

Muestras de Control	Parámetro Controlado	Proceso Controlado
Muestra Duplicada de Campo	Método de Muestreo / Heterogeneidad	Muestreo
Muestra Duplicada de Grueso	Homogeneizado / Cuarteo en Chancadora	Conminución
Muestra Duplicada de Fino	Homogeneizado / Cuarteo en Pulverizado	Conminución
	Precisión	Análisis Químico
Muestras Estándares	Exactitud	Análisis Químico
Blanco Fino	Contaminación	Análisis Químico

**Tabla. 4.4.** Procesos y parámetros controlados por muestras control. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### **4.5.4.1. MUESTRAS QUE CONTROLAN LA PREPARACIÓN (PROCESO DE CONMINUCIÓN) EN MUESTRERÍA**

##### **o MUESTRA DUPLICADA**

Una muestra duplicada tiene la misma ubicación espacial que la muestra original, las muestras duplicadas se deben de obtener sólo de muestras representativas en minerales, se pueden generar tres tipos de muestras duplicadas:

- **Muestra Duplicada de Campo (MDC) - Método de Muestreo:** Es la muestra gemela tomada en el mismo cono (remuestreo), pasa por las mismas etapas de preparación que la original, realizando un análisis cualitativo de la repetitividad contra la original, podemos calificar los niveles de precisión en la técnica de muestreo, con estos duplicados podemos determinar también el grado de complejidad de la heterogeneidad mineralógica inherente al yacimiento.
- **Muestra Duplicada de Grueso (MDG) - Cuarteo en Chancado:** Son fracciones tomadas al momento de reducir la masa de la muestra, después del chancado (malla N° 10). Estos duplicados brindan la varianza introducida por la preparación de muestras, más la varianza del submuestreo del rechazo de grueso (chancado – cuarteo).
- **Muestra Duplicada de Fino (MDF) - Cuarteo en Pulverizado:** Son fracciones, o inserciones de porciones de las mismas pulpas, estos

duplicados miden la varianza introducida por los procedimientos de preparación de muestras, la varianza en el submuestreo del rechazo fino (pulverizado – cuarteo) más la varianza en el análisis químico.

#### **4.5.4.2. MUESTRAS QUE CONTROLAN EL ANÁLISIS QUÍMICO EN EL LABORATORIO**

##### **o MUESTRA DUPLICADA**

Esta muestra de control mide el nivel de precisión, la cual se evalúa a través del error relativo (ER), como una característica cualitativa (baja precisión, alta precisión), y el error relativo como un parámetro cuantitativo. Entre ambos existe una relación inversa: a mayor error relativo, menor precisión. Los duplicados sólo pueden obtenerse por cuarteo de muestras representativas en minerales.

- **Muestra Duplicada de Fino (MDF):** Son fracciones de las mismas pulpas empleadas en el ensayo químico original, son enviadas al mismo laboratorio de las originales y analizadas por los mismos elementos.

##### **o MUESTRA ESTÁNDAR**

Un estándar de mineral de ley con un adecuado estado de oxidación y un contenido de minerales económicos es representativo al yacimiento, las muestras estándares para Operaciones en la mina Justa fueron preparadas con material propio del yacimiento, tenemos muestras estándar de alta, mediana y baja ley, las cuales miden los niveles de exactitud durante el análisis químico.

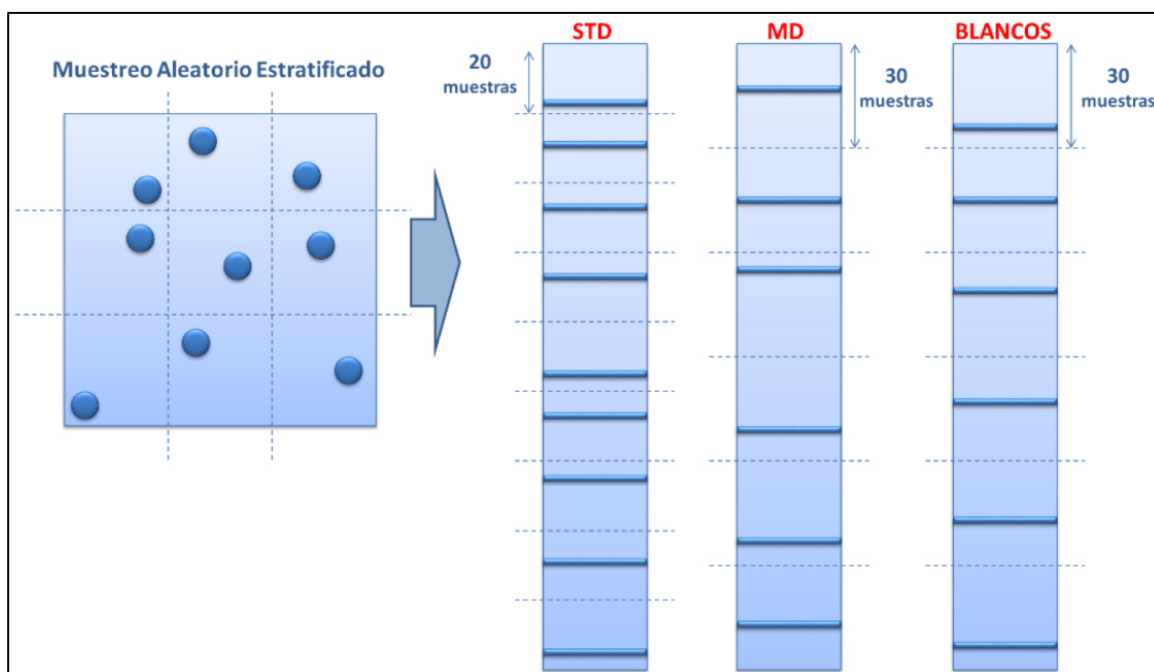
##### **o MUESTRA BLANCA**

Estas muestras de control tienen como objeto la medición del efecto de la operación sobre un material probablemente estéril, donde su contenido de ley de CuAS es < 0.01%. Sus objetivos principales son:

- Controlar el nivel de contaminación entre muestras de diferentes lotes.
- Controlar cambios litológicos con contrastes en contenido de ley de Cu.
- Controlar los importantes contrastes de ley de Cu en una misma litología.
- Controlar la contaminación de diques postmineral intruyendo a un material con alto contenido de ley de Cu.
- Controlar la contaminación en rocas estériles en contacto con mineral.

#### 4.5.5. TÉCNICA DE INSERCIÓN DE MUESTRAS DE CONTROL

Para insertar muestras de control se sugiere el “muestreo aleatorio estratificado” y se ubica estratégicamente cada muestra de control para hacer efectivo su rol como tal, la población de muestras se divide en grupos disyuntos es decir estratos, la ubicación de una muestra de control se obtiene seleccionando aleatoriamente según las características mineralógicas de las muestras, finalmente esta ubicación estará dentro de cada estrato, un estrato corresponde a una sección del tiempo o del espacio de tamaño constante (**Figura 4.23**)



**Fig. 4.23.** Muestreo aleatorio estratificado para insertar muestras control. **Fuente:** Del Autor (2019)

El material para la generación de muestras de control (estándares y blancos), deben ser propios del yacimiento; así las características mineralógicas de estas muestras serán iguales al depósito de mineral y la apariencia, las tonalidades deben ser equivalentes a las rocas del yacimiento, estas son propiedades que optimizan el control del nivel de exactitud y de contaminación (**Figura 4.24**).

Las muestras blanca y estándar deben ser pulverizadas a la misma malla que las muestras originales, estas muestras de control deben ser certificadas por un laboratorio nacional reconocido y acreditado.





**Fig. 4.24.** Control de exactitud y contaminación. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### 4.5.6. CRITERIOS DE INSERCIÓN DE MUESTRAS DE CONTROL

El cumplimiento del rol de las muestras de control será exitoso al ser insertados en los intervalos de muestras bajo ciertas características mineralógicas. La descripción económica y zonas de mineralización son importantes para seleccionar correctamente el tipo de muestras estándares, la ubicación de las muestras blancas y duplicadas.

La complejidad inherente al yacimiento determina la frecuencia de inserción de las muestras de control, la heterogeneidad mineralógica debe ser controlada con un mayor número de muestras de control (desde el muestreo hasta el análisis químico). Se sugiere utilizar la frecuencia recomendada para la inserción de muestras de control por Armando Simon (AMEC, 2010) (**Tabla 4.5**).

Tipo de Muestra Control	Frecuencia de Inserción
Muestras Gemelas	1 en 30 a 50
Duplicados Gruesos	1 en 30 a 50
Blancos Gruesos	1 en 30 a 50
Duplicados de Pulpa	1 en 30 a 50
Estándar Baja Ley	1 en 20, alternadamente
Estándar Media Ley	
Estándar Alta Ley	
Blancos Finos	1 en 30 a 50
Duplicados Externos	1 en 20
Chequeos Granulométricos	1 en 10, en los lotes de control

**Tabla. 4.5.** Frecuencia sugerida de inserción de muestras de control. **Fuente:** A. Simon (2010)

Es así como se sugiere una frecuencia de inserción dinámica de muestras de control (**Tabla 4.6**), que principalmente se caracteriza por considerar dos factores para ver qué cantidad de muestras de control se deben insertar, estos factores son primero la cantidad de muestras recolectadas y segundo la presencia o no de mineral, ambos nos ubican en una de las opciones de inserción de muestras. Todas las circunstancias operacionales que afectan la generación de orden de trabajo para ensaye pueden ser resueltas si aplicamos este criterio.

Muestras de Control	Muestras $\leq 15$		Muestras 16 - 30		Muestras 31 - 40		Muestras > 40		Procesos Controlados		
	Sin Mineral	Con Mineral	Sin Mineral	Con Mineral	Sin Mineral	Con Mineral	Sin Mineral	Con Mineral	Muestreo	Preparación de Muestra	Análisis Químico
MDC				1	1	1		1 cada 30	Muestreo Campo		
MDG				1	1	1		1 cada 30		Cuarteo CH	
MDF		1		1	1	1	1	1 cada 30		Cuarteo PULV	Precisión
B_FINO		1	1	1	1	1	1	1 cada 30			Contaminación
B_CH				1		1		1 cada 30		Contaminación CH	
B_PULV						1		1 cada 30		Contaminación PULV	
STD	1	1	1	1	1	2	1	1 cada 20			Exactitud

**Tabla. 4.6.** Frecuencia de inserción dinámica de muestras de control sugerida y procesos controlados. **Fuente:** Del Autor (2019)

El valor considerado para diferenciar si una muestra tiene o no mineral, sería de 0.15% CuAS, donde todo lo menor a este porcentaje sería sin mineral y todo lo mayor a este porcentaje sería con mineral, tras el logueo del Geólogo.

#### 4.5.6.1. CRITERIOS DE INSERCIÓN DE MUESTRAS ESTÁNDARES

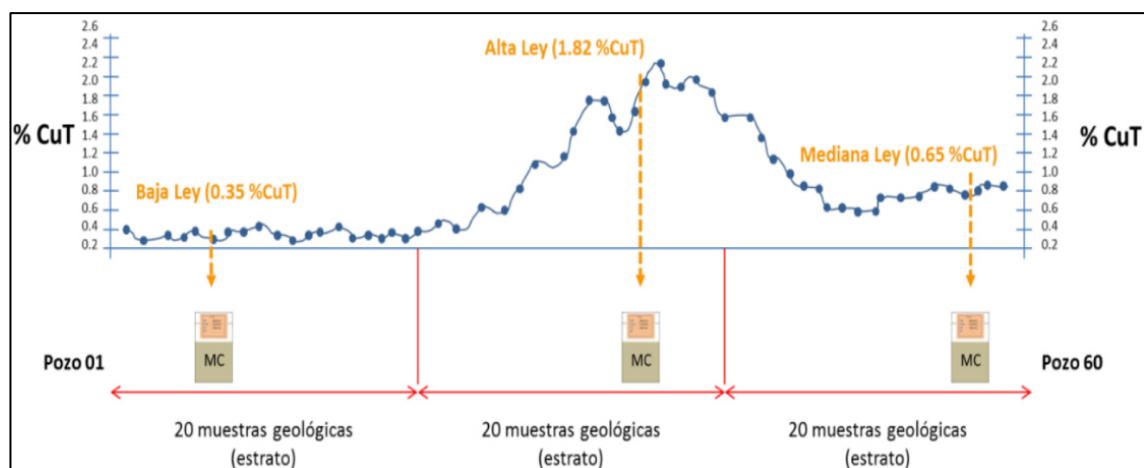
Esta se da en cada 20 muestras originales, no cuentan: muestras de cobertura, sin recuperación, estándares ni blancas, tomar las siguientes consideraciones:

- Se debe determinar la abundancia del CuAS promedio del estrato (20 muestras) para seleccionar el estándar correspondiente a insertar.
- La muestra estándar por insertar deberá continuar con la tendencia de la abundancia del CuAS del estrato de muestras a controlar (**Figura 4.25**).

#### 4.5.6.2. CRITERIOS DE INSERCIÓN DE MUESTRAS DUPLICADAS

Esta se da en cada 30 muestras originales, no cuentan: muestras de cobertura, sin recuperación, estándares ni blancas. La complejidad mineralógica inherente al yacimiento determina la frecuencia de inserción de las muestras duplicadas, tener las siguientes consideraciones:

- La muestra duplicada deberá ser tomada de un cono simétrico.
- La muestra duplicada generará los duplicados MDC, MDG y MDF.



**Fig. 4.25.** Inserción de muestras estándares. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### 4.5.6.3. CRITERIOS DE INSERCIÓN DE MUESTRAS BLANCAS

Estas se dan en cada 30 muestras originales, no cuentan: muestras de cobertura, sin recuperación, ni estándares, tomar las siguientes consideraciones:

- Insertar una muestra blanca en una zona de mayor nivel de riesgo de contaminación.
- Insertar una muestra blanca inmediatamente después de una muestra con alto contenido en Cu.
- Si la complejidad mineralógica lo amerita, en un estrato de 30 muestras podría insertarse como máximo dos muestras blancas.

Para asegurar la población de muestras del lote, deberá tener suficiente cantidad de muestras de control (estándares, duplicados y blancos), si al final del lote de muestras se tiene estratos con menos de 30 y/o 20 muestras respectivamente sin muestras de control, estos de todas maneras deberán ser controlados (**Figura 4.26**), del siguiente modo:

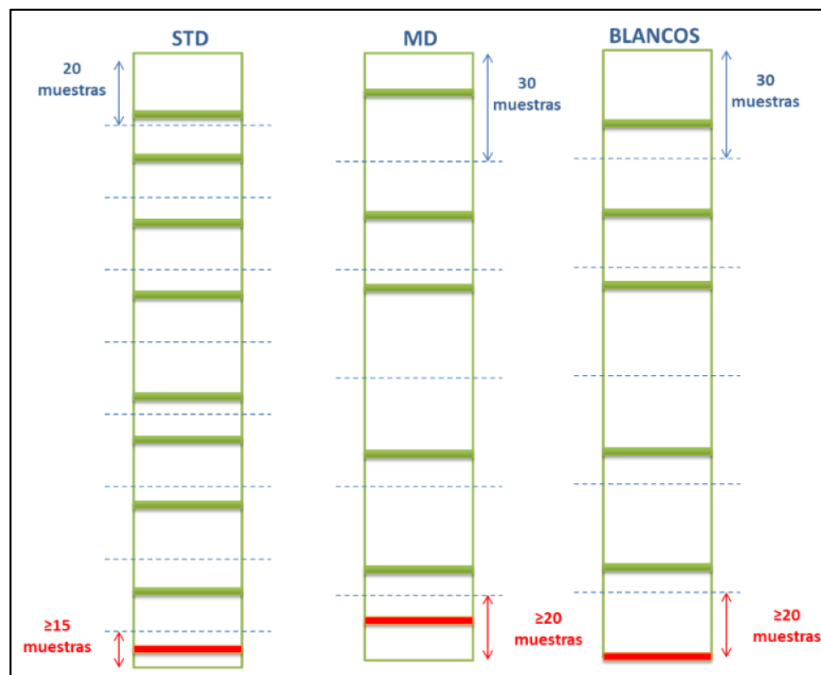
Para estándares (STD):  $\geq 15$  muestras, insertar muestra estándar

Para duplicados (MD):  $\geq 20$  muestras, insertar muestra duplicada

Para blancos (MB):  $\geq 20$  muestras, insertar muestra blanca

#### 4.5.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para la validación de los parámetros utilizados, se tienen rangos de valores permisibles mucho más ajustados a la realidad de los procesos de muestreo, submuestreo (preparación de muestras) y análisis químico.



**Fig. 4.26.** Frecuencia de inserción de muestras de control e inserción de muestras de control al final de cada lote. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### **4.5.7.1. ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL PROCESO DE MUESTREO EN CAMPO**

- Utilizar duplicados de campo, donde se evalúan los niveles de precisión, teniendo como rangos de aceptabilidad para la MDC:  $<30\%DF$

#### **4.5.7.2. ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL PROCESO DE MUESTREO EN CAMPO**

- Utilizar duplicados gruesos, se evalúa la homogenización y el cuarteo en el chancado, con rangos de aceptabilidad para la MDG:  $<20\%DF$ .
- Utilizar duplicados finos, se evalúa la homogenización y el cuarteo en el pulverizado, con rangos de aceptabilidad para la MDF:  $<10\%DF$ .
- Utilizar muestras blancas del chancado, se evalúa los niveles de contaminación en el chancado, con rangos de aceptabilidad para la MBCH:  $<0.01\%CuAS$ .
- Utilizar muestras blancas del pulverizado, se evalúa los niveles de contaminación en el pulverizado, con rangos de aceptabilidad para la MBPULV:  $<0.01\%CuAS$ .

#### **4.5.7.3. ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL PROCESO DE ANÁLISIS QUÍMICO**

- Utilizar muestras estándares, se evalúa los niveles de exactitud, con rangos de aceptabilidad de estar dentro de  $\pm 2SD$ .
- Utilizar muestras duplicadas de finos, se evalúa los niveles de precisión, con rangos de aceptabilidad para la MDF:  $<10\%DF$ .
- Utilizar muestras blancas especiales, se evalúa los niveles de contaminación, teniendo como rangos de aceptabilidad:  $<0.01\% CuAS$ .

#### **4.6. METODOLOGÍA DEL CONTROL DE ENVÍO DE MINERAL**

Luego de tener controlado y asegurado el proceso de muestreo, se procede a utilizar los datos para poder actualizar el modelo de corto plazo o dinámico, y poder generar los polígonos de mineral, diferenciando estos últimos por la calidad de material enfocado en la recuperación del Cobre, que serán visualizados tanto en los softwares de alta precisión como en la mina misma mediante banderines y cintas de colores que representan a distintos tipos de material, los cuales deben reflejarse en las áreas de almacenamiento temporal específicos (stocks) con los mismos colores de origen (mediante estacas).

Así expongo la importancia que tiene el proceso de muestreo junto a la supervisión constante del Geólogo de control envío de mineral.

##### **4.6.1. ACTUALIZACIÓN DEL MODELO DE CORTO PLAZO (DINÁMICO)**

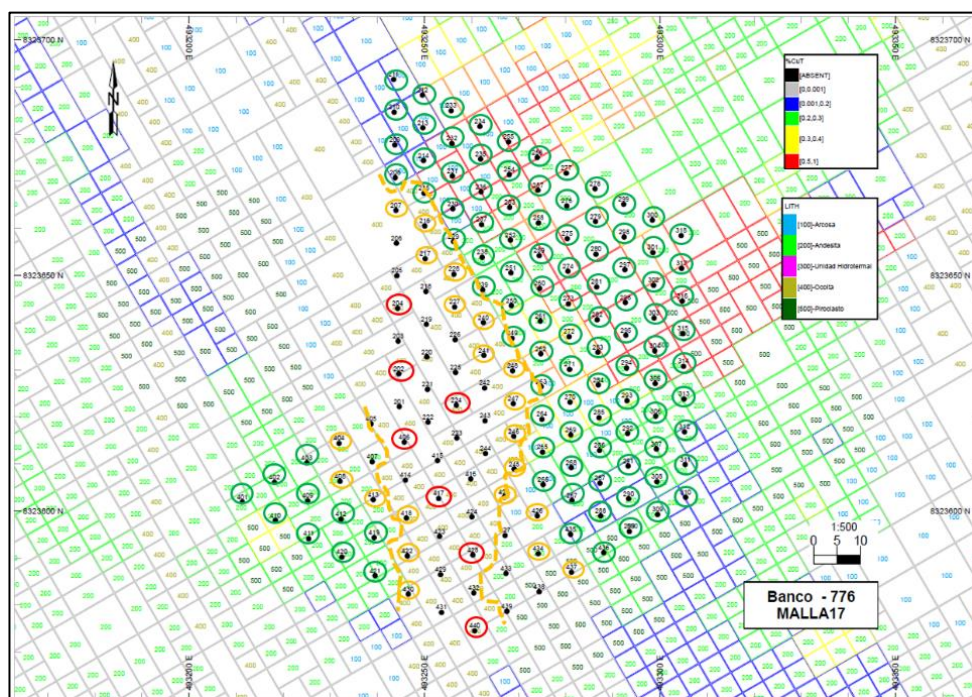
Una de las razones principales de la intervención del área de geología de mina en la etapa de producción es el poder ajustar el modelo de largo plazo, mediante la información de los detritos de los taladros para voladura (soporte con mayor densidad de muestreo). Se trata de un proceso que considera toda la información del logueo y muestreo de los detritos.

El objetivo es tener una representación mucho más certera de la realidad en el yacimiento, para así evitar pérdidas incalculables e incontrolables al momento de recuperar el Cobre en las plantas de procesamiento de mineral, de esto último

resalta que la importancia de caracterizar el material a minar es muy elevada, y el método de muestreo es el proceso que brinda la principal información para caracterizar todos los materiales, objetivo principal del presente análisis.

#### 4.6.1.1. **IMPORTANCIA DE DATOS OBTENIDOS POR EL GEÓLOGO DE LOGUEO**

El Geólogo de logueo acompañado por el equipo de muestreo, procede con el primer paso para actualizar el modelo de corto plazo que es obtener la malla de perforación planeada, el cual es un proyecto con todos los taladros que se decide perforar con fines de voladura, carguío y acarreo, para el cual se tiene un conocimiento del tipo de material existente basado en la información del modelo de largo plazo, el cual nos indica cómo se deberá realizar el trabajo de logueo y muestreo (**Figura 4.27**).

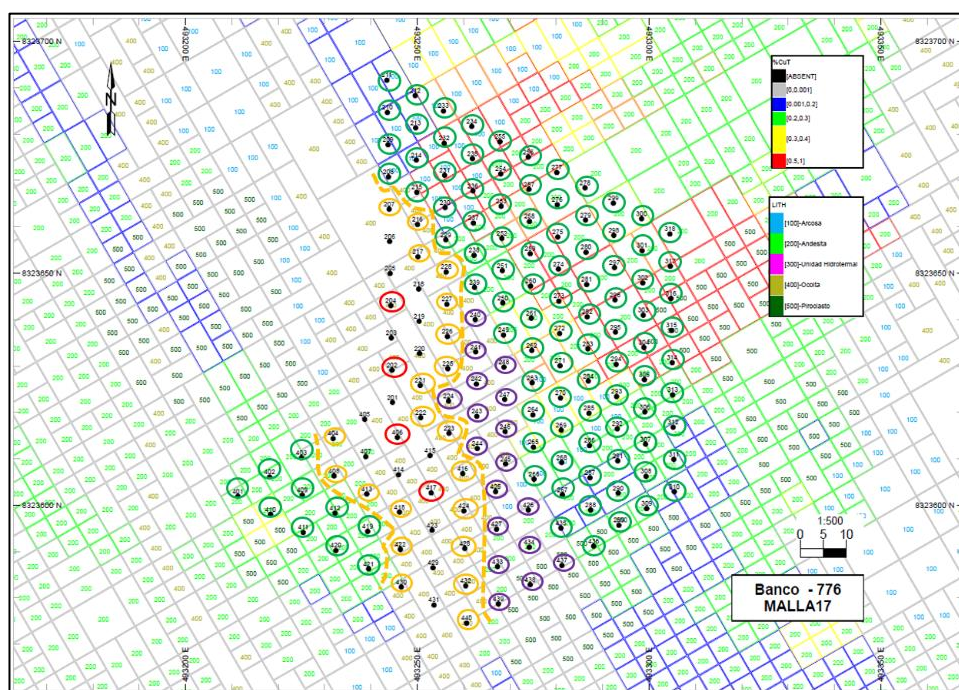


**Fig. 4.27.** Malla de perforación planeada. **Fuente:** Del Autor (2019)

Como ya se indicó el objetivo geológico de la perforación de taladros es actualizar o ajustar la información el modelo de largo plazo, y esto se logra gracias al logueo que el Geólogo realiza del total de los taladros planeados, confirmando o modificando (ajustando) esencialmente lo siguiente: litología y mineralización, obteniendo muchas veces más taladros que muestrear de los que se tenía planeado con la información inicial que nos brindaba el modelo de largo plazo.



Esta diferencia se puede apreciar al comparar la **Figura 4.27** con la malla planeada (modelo de largo plazo, se tenía definido el espesor del dique de Ocoita y la cantidad de 129 taladros por muestrear) con la **Figura 4.28** con la malla logueada por el Geólogo (ajuste en los contactos del dique de Ocoita a ambos lados y un incremento de la cantidad de taladros por muestrear a 144, debido a taladros logueados con mineral), dicho de otro modo, se encontró más mineral del que se tenía previsto en el modelo de largo plazo (que sugería no muestrear ni minar como mineral muchos taladros que fueron modelados como dique estéril, cuando en realidad no eran parte del dique y sí tenían mineral, así mismo se disminuyó la dilución del dique de Ocoita sobre el mineral.



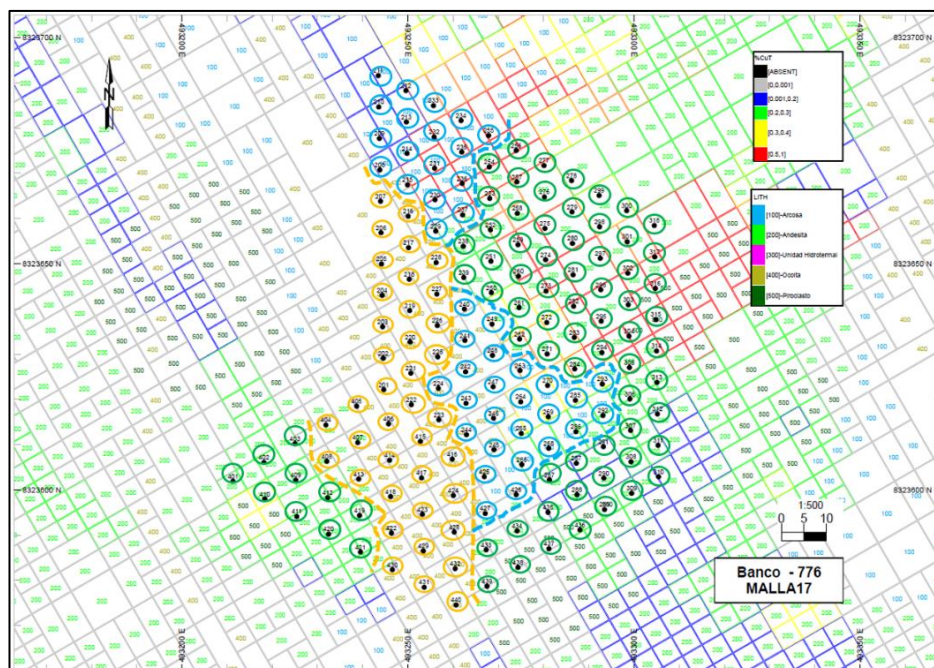
**Fig. 4.28.** Malla de perforación ajustada por el Geólogo. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### 4.6.1.2. INCLUSIÓN DE DATOS DE TALADROS EN EL SOFTWARE

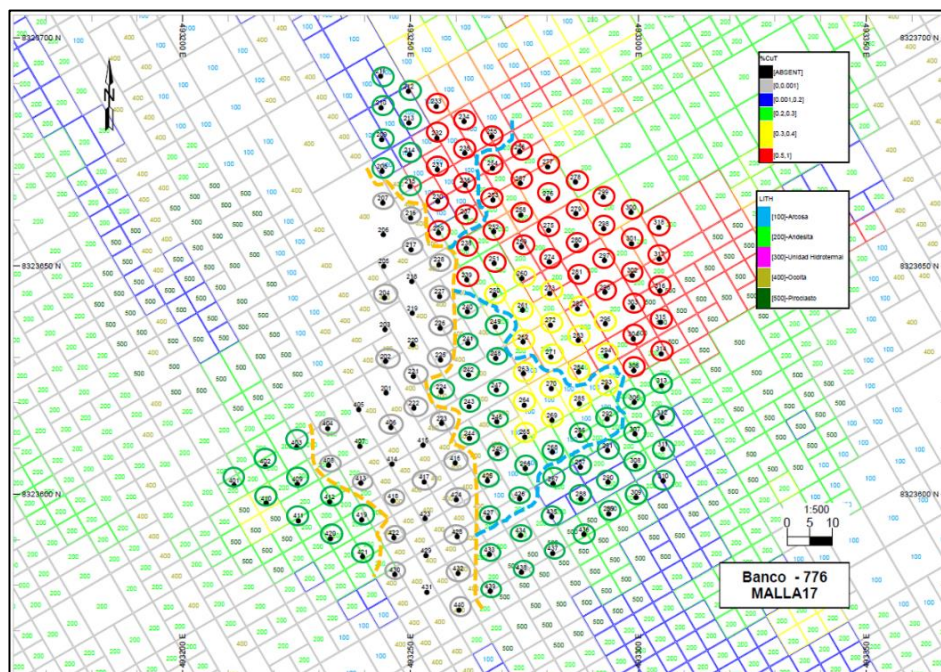
El primer dato que se incluye en el software para actualizar el modelo de corto plazo es la litología descrita por el Geólogo de logueo, lo cual tiene como objetivos: determinar con un soporte más denso (taladros para voladura) los contactos existentes, lo más ajustado a la realidad del yacimiento, definir contactos entre rocas con mineral y estériles para evitar la dilución y encontrar pequeños diques, vetas y/o cuerpos (**Figura 4.29**).

El segundo dato son las leyes de los detritos de los taladros para voladura que fueron muestreados, en el software se pueden diferenciar cuerpos con diferentes

rangos de leyes de Cu: gris (estéril, del dique), verde (ley baja), amarillo (ley media) y rojo (ley alta) (**Figura 4.30**).



**Fig. 4.29.** Malla de perforación logueada por el Geólogo. **Fuente:** Del Autor (2019)



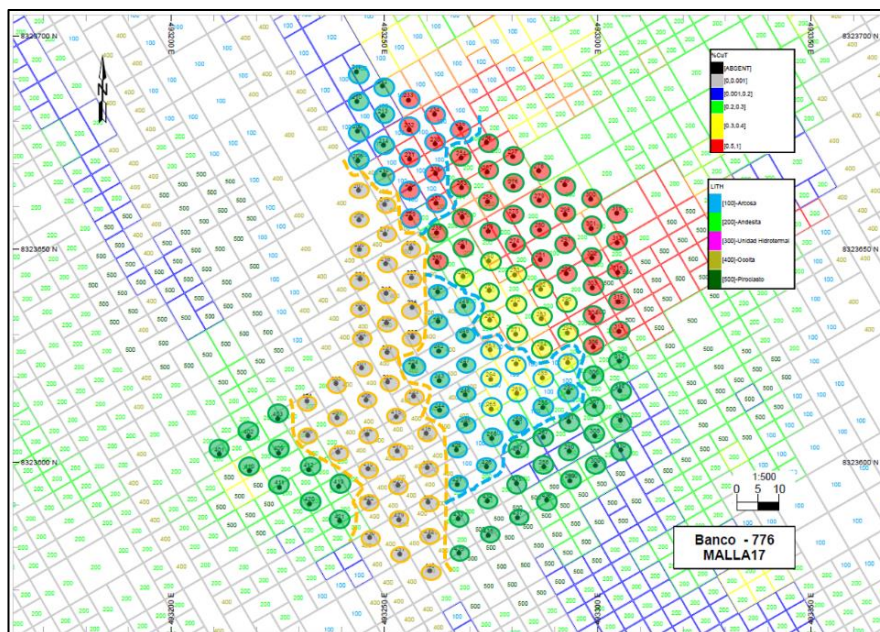
**Fig. 4.30.** Resultados de leyes de Cu total en la malla de perforación. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### 4.6.1.3. INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA DE DATOS DE TALADROS EN EL SOFTWARE

Activando las variables de litología y ley de Cu, se realizan las interpretaciones necesarias, buscando un entendimiento geológico que logre amarrar lo previsto



con lo actualizado, brindando una especie de aseguramiento y control de la calidad final de los datos obtenidos tras el logueo y muestreo de detritos de los taladros para voladura, considerando principalmente que estas interpretaciones son las que realmente generarán los ajustes importantes en el modelo existente (largo plazo) para generar el modelo de corto plazo, con el cual se realizará el carguío y acarreo de los distintos materiales caracterizados por el área de control de mineral. (**Figura 4.31**).



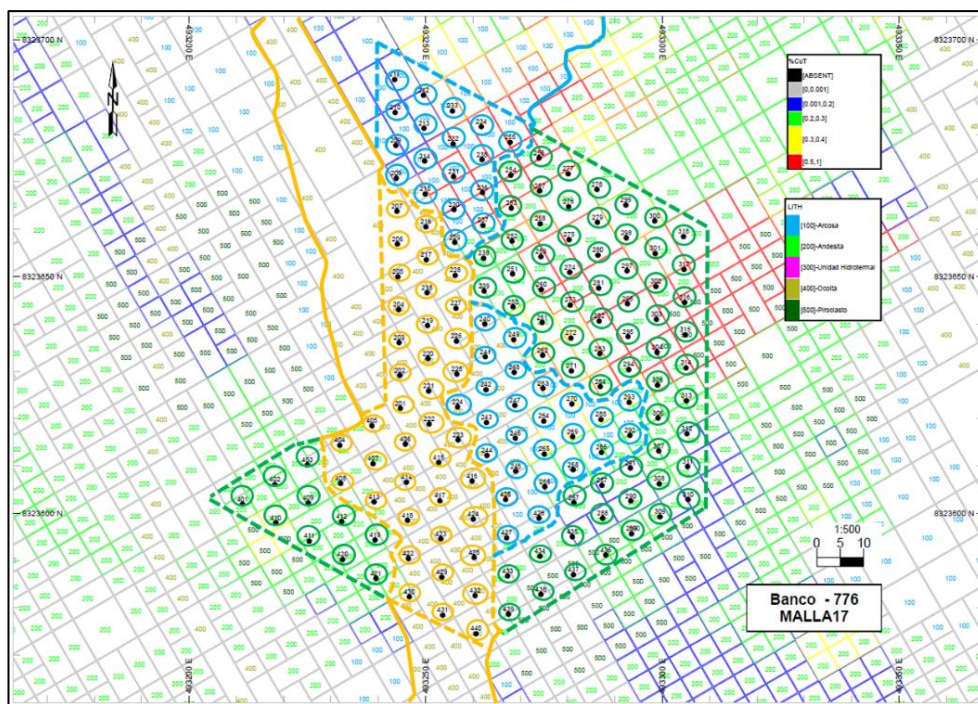
**Fig. 4.31.** Malla de perforación interpretada por el Geólogo. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### **4.6.1.4. ACTUALIZACIÓN DEL MODELO LITOLÓGICO DE CORTO PLAZO**

Una vez validados e interpretados los datos litológicos por el Geólogo, se procede a realizar las corridas de actualización en el software sobre el modelo litológico existente, donde principalmente los nuevos polígonos litológicos, generados por la descripción del Geólogo, actualizan los polígonos o contactos previos, empalmándose estos en las partes periféricas de la malla, generando ajustes no sólo en el banco tratado si no también en los bancos vecinos, buscando siempre tener un modelo lo más real posible (**Figura 4.32**).

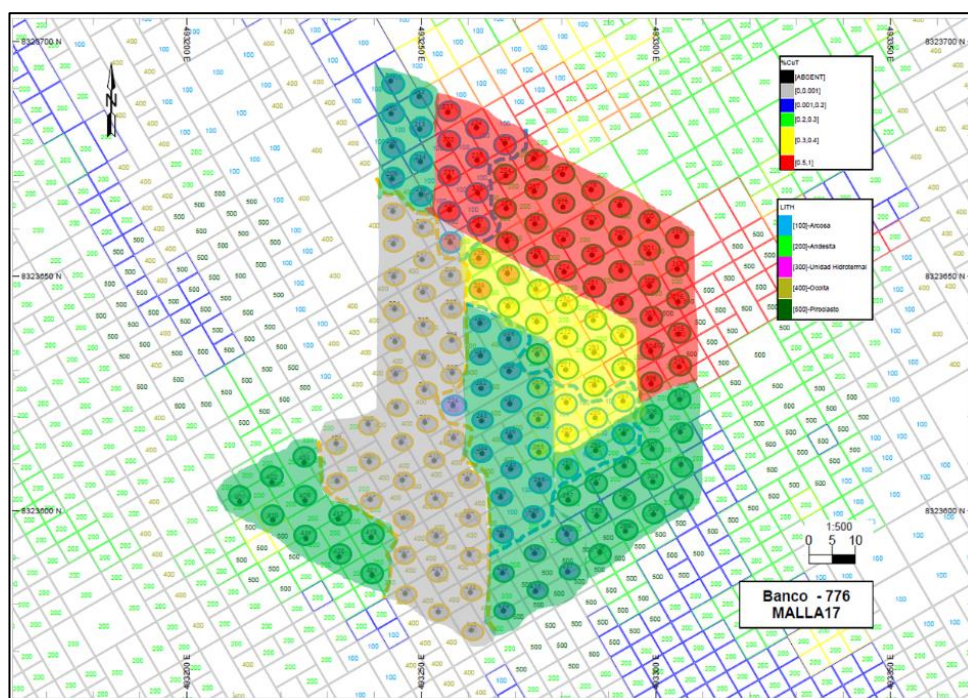
#### **4.6.1.5. ACTUALIZACIÓN DEL MODELO ECONÓMICO DE CORTO PLAZO**

Finalmente, se procede a actualizar el modelo económico de corto plazo, el cual se soporta de los resultados de las leyes de las muestras, como punto de partida para lograr crear distintos materiales en torno a la cantidad de mineral de cobre



**Fig. 4.32.** Polígonos litológicos para actualizar el modelo de corto plazo. **Fuente:** Del Autor (2019)

que contienen estos (gris es desmonte, verde es ley baja, amarillo es ley media y rojo es ley alta). En estas instancias es cuando más se idealiza un muestreo representativo, el cual tiene un soporte de validación del método de muestreo, que pueda sustentar que los resultados son confiables para tomar decisiones de envío de mineral (**Figura 4.33**).



**Fig. 4.33.** Polígonos de ley de Cu Total para actualizar el modelo. **Fuente:** Del Autor (2019)



## 4.6.2. GENERACIÓN DE POLÍGONOS DE MINADO Y CONTROL DE ENVÍO DE MINERAL

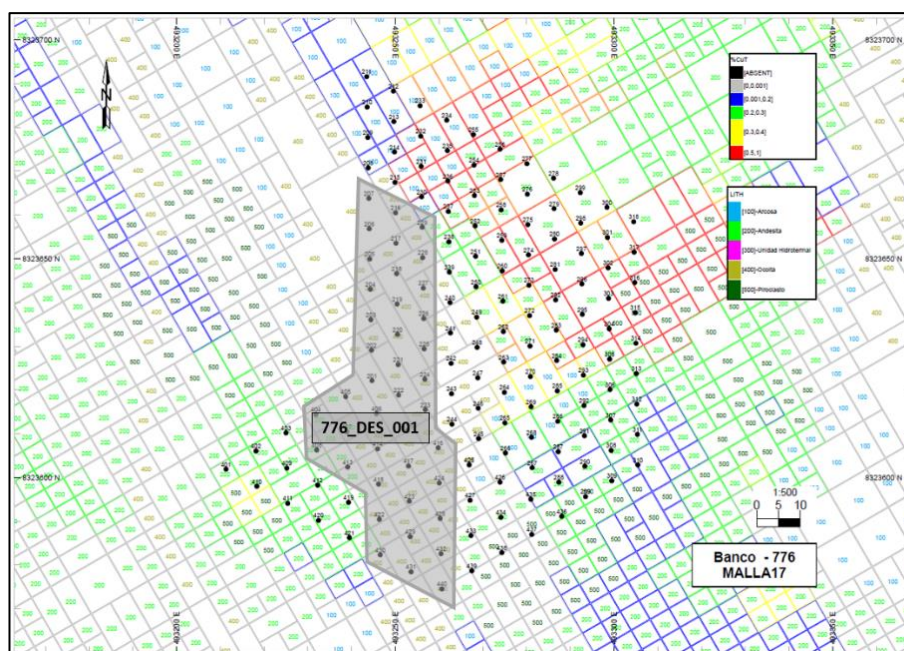
### 4.6.2.1. DEFINICIÓN Y GENERACIÓN DE POLÍGONOS EN EL SOFTWARE

Los polígonos de minado se definen según el modelo de corto plazo, para el caso de la malla de perforación que estamos utilizando como ejemplo, a modo didáctico y general, se generarán cuatro tipos de materiales: desmonte, ley baja, ley media y ley alta, basados en el porcentaje de Cu total. Estos se generan en el software utilizado para visualizar el modelo y luego son exportados al sistema de alta precisión con el cual operaciones trabaja.

#### o POLÍGONOS DE DESMONTE

Se define desmonte a todo aquel material que está por debajo del valor de 0.1% de Cu total, cuya recuperación no tendría beneficios, considerando los aspectos económicos actuales. En la malla ejemplo, se le asigna como código de identificación primero al banco que corresponde (776), seguido de la abreviatura “DES”, finalmente un correlativo (001), como se muestra en la **Figura 4.34**.

Es de mucha importancia determinar sus límites para evitar la dilución cuando se encuentran en contacto con mineral. Son utilizados mayormente para construcción de diques, bases de stocks, rellenos, vías y accesos, entre otros.

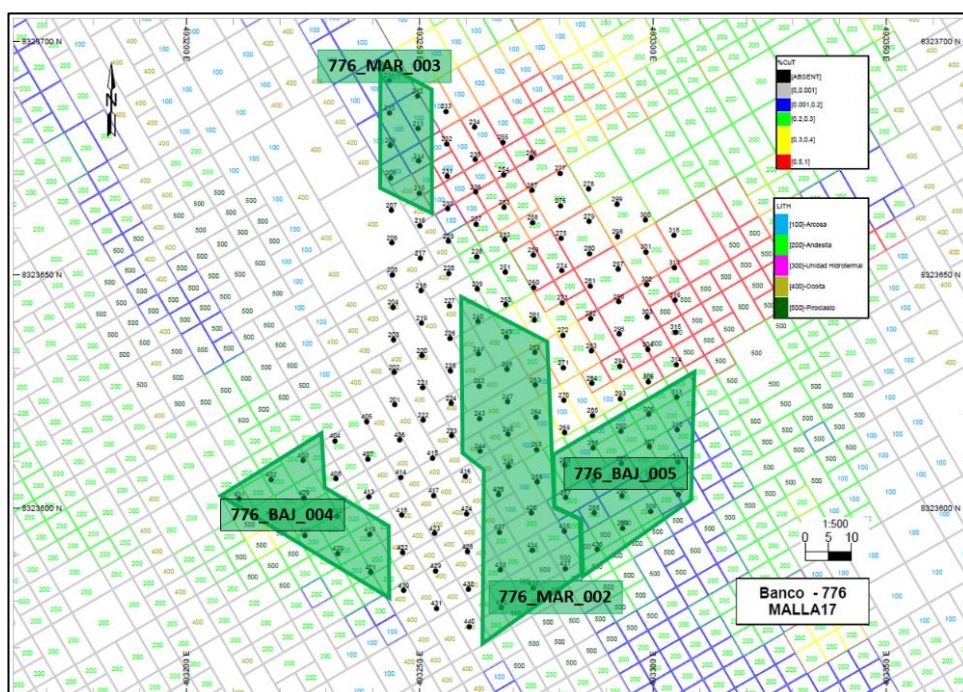


**Fig. 4.34.** Polígono de desmonte generado en la malla de perforación. **Fuente:** Del Autor (2019)

### o **POLÍGONOS DE LEY BAJA**

Se define ley baja a todo aquel material que tiene entre 0.1% a 0.3% de Cu, cuya recuperación aporta pocos beneficios, se utiliza para realizar un envío simultaneo con materiales de ley alta, buscando un promedio ponderado de ley planeado, se le asigna la abreviatura “BAJ” para su identificación.

Estos materiales de ley baja son característicos de zonas que se encuentran en los márgenes de los cuerpos principales de mineral, los contactos entre mineral y desmonte, zonas donde no se tenía información previa, entre otros (**Figura 4.35**).



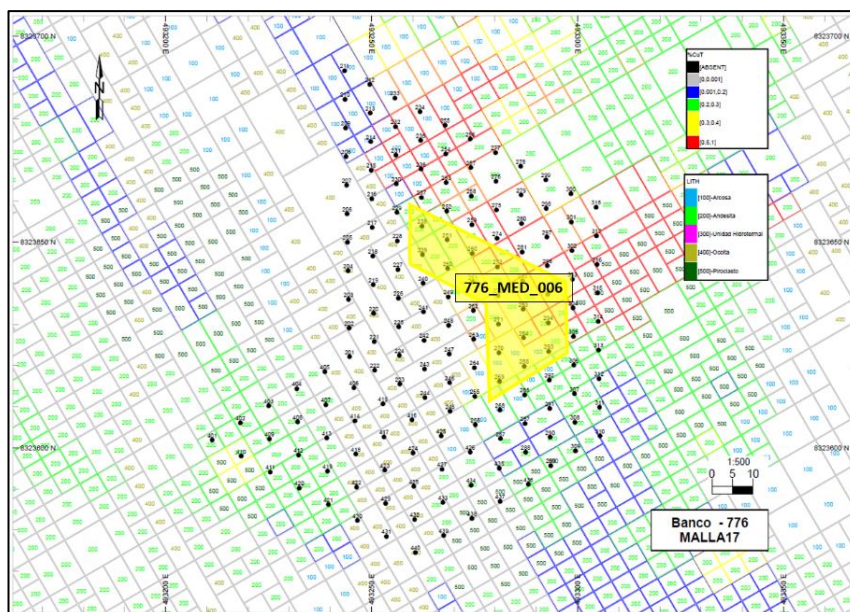
**Fig. 4.35.** Polígonos de ley baja generados en la malla de perforación. **Fuente:** Del Autor (2019)

### o **POLÍGONOS DE LEY MEDIA**

Se define ley media a todo aquel material que tiene entre 0.3% a 0.4% de Cu, cuya recuperación si aporta beneficios, cuando se tiene este tipo de material por lo general se envía al 100% sin necesidad de alternar con otro material, Se le asigna la abreviatura “MED” para su identificación.

Estos materiales se caracterizan por estar próximos al cuerpo principal de mineral, cerca de las zonas de mayor concentración de mineral, asegurando una producción exitosa en cuanto a los objetivos planeados (**Figura 4.36**).

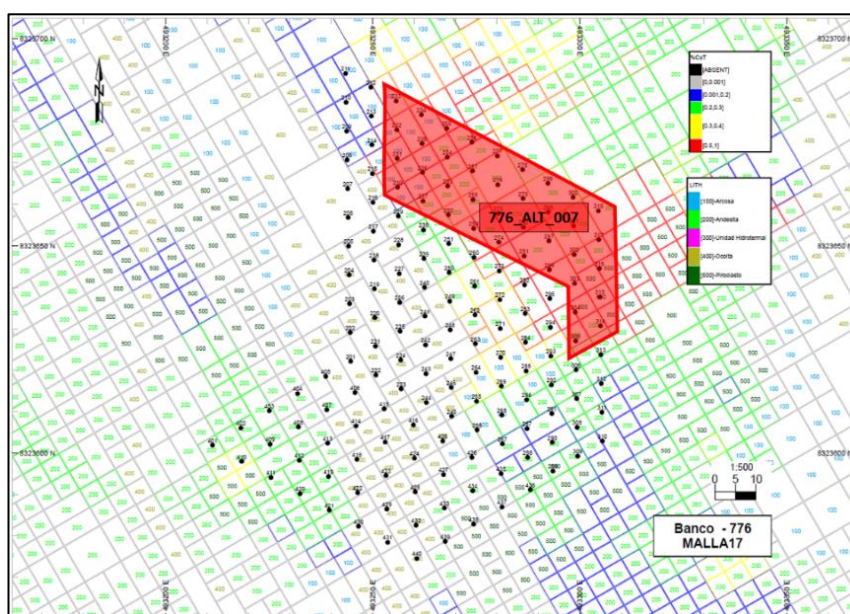




**Fig. 4.36.** Polígono de ley media generados en la malla de perforación. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### o **POLÍGONOS DE LEY ALTA**

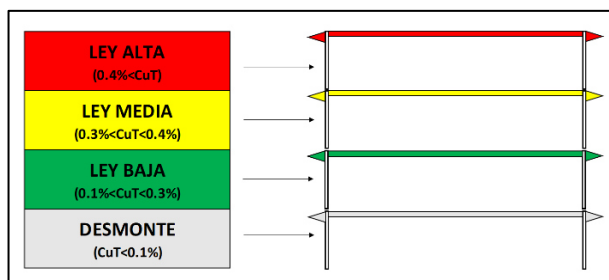
Se define ley alta a todo aquel material que tiene más de 0.4% de Cu, cuya recuperación y concentración es por lo general alta, se utiliza para realizar un envío simultaneo con materiales de ley baja, al 100% cuando se necesita subir los valores de ley, recuperación y concentrado. Se le asigna la abreviatura “ALT” para su identificación (**Figura 4.37**). Estos materiales se encuentran en las partes centrales del yacimiento, debiendo tener cuidado en todo momento en sus contactos con otros materiales de menor ley o desmonte, evitando su dilución.



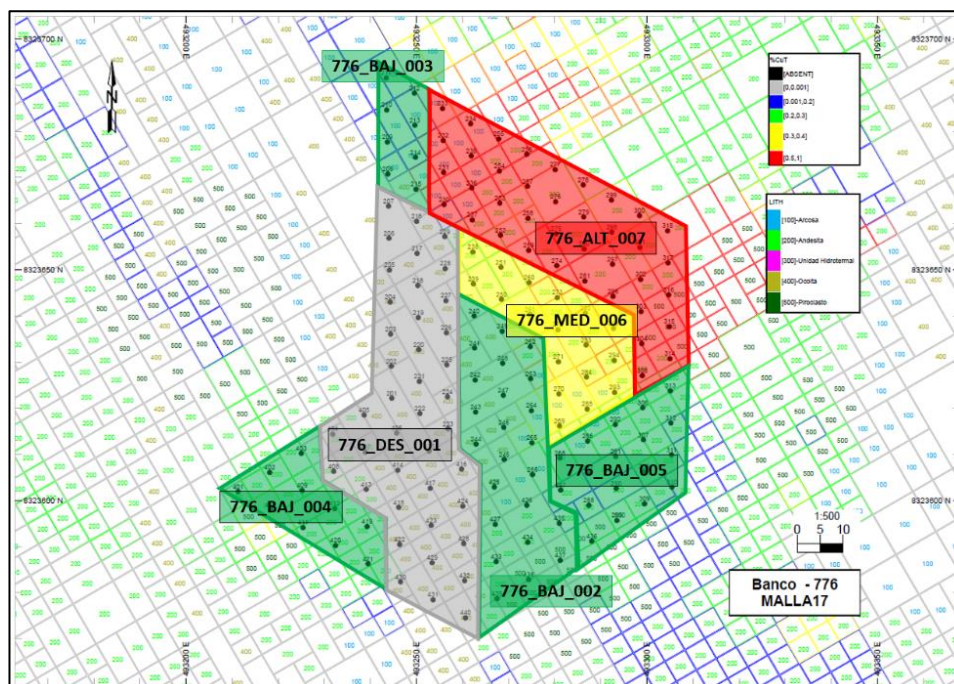
**Fig. 4.37.** Polígono de ley alta generado en la malla de perforación. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### 4.6.2.2. DEMARCACIÓN DE POLÍGONOS EN EL MATERIAL VOLADO

Una vez exportados los polígonos de minado en el sistema de alta precisión, estos son cargados al GPS (**Figura 4.39**), para plantar banderines, para luego unir estos banderines con cintas, tanto los banderines como las cintas tienen los mismos colores de acuerdo con su tipo de material (**Figura 4.38**).



**Fig. 4.38.** Colores de banderines y cintas de acuerdo con el material. **Fuente:** Del Autor (2019)



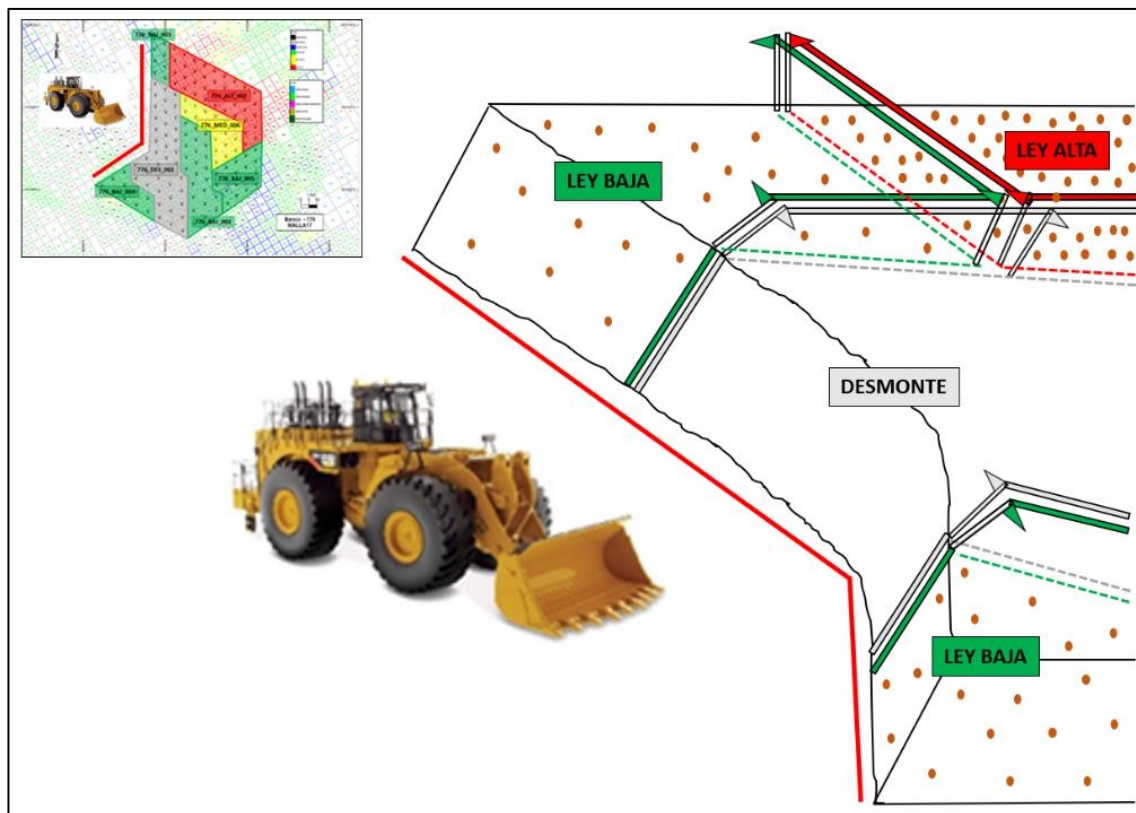
**Fig. 4.39.** Polígonos cargados al GPS a demarcar en área volada. **Fuente:** Del Autor (2019)

El objetivo es que cuando ingrese el equipo de carguío, encuentre plasmado en el material volado los polígonos de mineral, pudiendo ubicarse muy fácilmente en qué tipo de material se encuentra, y realizar un correcto envío, siempre bajo la supervisión del Geólogo de control de mineral (**Figura 4.40**).

Este proceso de demarcación de polígonos es de mucha importancia para evitar la dilución del mineral, su práctica es clave, ya que si en un polígono de ley alta se observa que el material no contiene tanto porcentaje de Cu, entonces



estamos frente a un gran problema y deberíamos buscar que proceso no está cumpliendo con sus estándares de calidad y solucionarlo de inmediato.

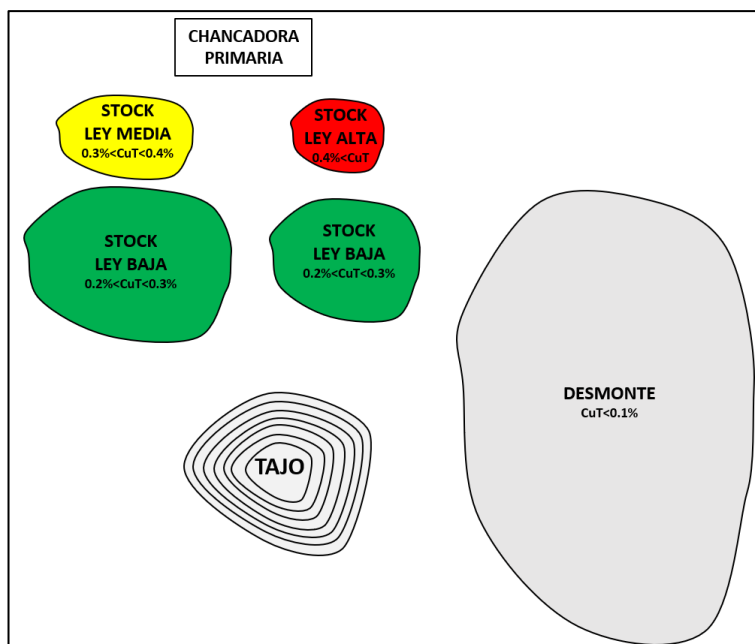


**Fig. 4.40.** Demarcación de polígonos en el material volado. **Fuente:** Del Autor (2019)

En estos casos, lo más común es hacer responsable al proceso del muestreo de detritos de los taladros para voladura, basándose en la idea que el método de muestreo no es representativo, es cuando surge la interrogante si se realizaron análisis del método de muestreo utilizado, lo cual es el único sustento aceptable para confirmar que el muestreo es el más representativo posible para las condiciones actuales del proceso de producción existente, y el cual debe ser actualizado cada cierto tiempo con nuevo soporte.

#### 4.6.3. DEFINICIÓN DE LOS STOCKPILES

Los stockpiles en su mayoría se ubican cerca de las chancadoras primarias, debido a que su principal función es justamente almacenar temporalmente los materiales, en el momento que no sea preciso enviar estos a las plantas de procesamiento de mineral, para luego (horas, días, meses, hasta años) cuando se requiera el tipo de material almacenado, se proceda a remanipular dicho material y enviar a las plantas a recuperar el cobre (**Figura 4.41**).



**Fig. 4.41.** Ubicación ideal de los stockpiles. **Fuente:** Del Autor (2019)

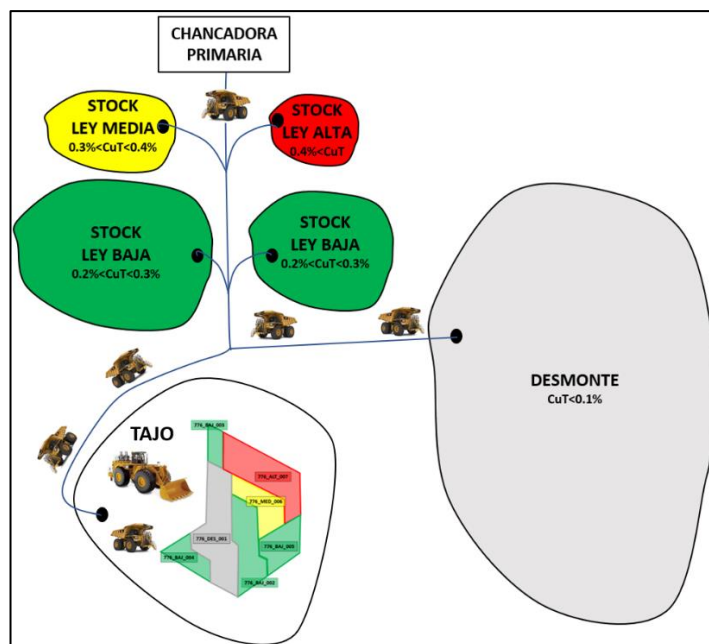
Son muy prácticos cuando se inician las operaciones de extracción en una mina y aún no se tienen construidas la chancadora primaria y la planta de procesamiento de mineral. Sirven como soporte para realizar un control de la clasificación de materiales por parte del Geólogo de control de mineral, pudiendo loguear y muestrear el material para confirmar su clasificación.

Cuando las operaciones de extracción del tajo sufren algún incidente que impide su continuidad (horas, días, hasta meses), dependiendo de la cantidad de stock, estos pueden alimentar la planta de procesamiento de mineral, evitando altas pérdidas económicas por la parada no programada de la planta. Cuando se requiere regular los valores de ley de Cobre, concentrado y recuperación, se puede realizar envíos alternos a la chancadora primaria con cualquiera de estos stocks.

#### 4.6.4. SISTEMA DE ALTA PRECISIÓN DE DESPACHO DE MINA

Se trata de un software de soporte de control del carguío y acarreo de los materiales existentes en mina, mediante el GPS colocado en cada unidad, el cual es calibrado para tener su ubicación en tiempo real (**Figura 4.42**). En este sistema se cargan todas las locaciones, equipos, eventos, tonelajes y otros, necesarios para un buen carguío y acarreo. Es así como se ve materializada la información obtenida de las muestras de detritos de los taladros para voladura, siendo la base fundamental para lograr el éxito al momento de realizar el envío de mineral.





**Fig. 4.42.** Sistema de alta precisión de despacho de mina. **Fuente:** Del Autor (2019)

#### 4.6.5. IMPORTANCIA DE LA SUPERVISIÓN DEL GEÓLOGO EN EL PROCESO TOTAL DE CONTROL DE MINERAL

En estas instancias, quien está en la capacidad de tomar decisiones en cuanto a la calidad de los materiales y por ende su destino es el Geólogo de control de mineral, quien se soporta de todas las herramientas que este a su alcance para realizar un correcto envío de mineral.

Puede sonar duro, pero la labor del Geólogo de control de mineral es muy dura, desde el punto de vista que tiene que mantener su esencia de Geólogo que se enfoca en caracterizar las rocas y su contenido mineral, buscando dar un orden o lógica a la complejidad del yacimiento, y a su vez tiene que amoldarse y ser quien de las iniciativas desde su conocimiento para que la operación sea constante y alcance sus objetivos, mimetizándose en un Ingeniero de Minas, Ingeniero Metalurgista, pero justamente esta labor multidisciplinaria es necesaria en un profesional, al cual se puede acudir en cualquier momento, para solucionar cualquier problema del material clasificado para explotar del yacimiento.

Y el proceso más importante que le brinda información del material a minar al Geólogo de control de mineral es justamente el muestreo, teniendo que supervisar constantemente que estos logren realizarse de acuerdo con lo que indican los procedimientos, específicamente el procedimiento de muestreo exige

un análisis del método a utilizar, con su soporte justificado para asegurar la representatividad del material, y no tener sorpresas en la conciliación final.

Así mismo, por su vital importancia, deberíamos generar mayor inversión en el proceso de muestreo en lugar de pensar que es un muestreo más y que cualquier persona lo puede hacer obteniendo los mismos resultados, esto es el mayor error actualmente, la minería moderna exige capacitar al personal de muestreo, generarle interés por buscar la representatividad y motivarlo económicamente en base a resultados.

#### **4.6.6. DEMOSTRACIÓN DE LA SEGUNDA HIPOTESIS**

Con estas sugerencias demostré la segunda hipótesis de que el mejor procedimiento de inserción es el aleatorio estratigráfico con los criterios de cantidad de muestras y contenido de mineral en cada lote y teniendo muestras representativas y validadas en cuanto a su calidad, obteniendo menor dilución en el envío de mineral, logro así cumplir con el segundo objetivo de definir la metodología de inserción de muestras de control y del control de envío de mineral, basado en la información validada, obtenida de las leyes de los taladros para voladura.

## CONCLUSIONES

- El método del auger de volumen medio es el más representativo y operativo en la mina Justa, a utilizar para conos tipo 1 y 2 (regulares), para conos tipo 2 y 3 (irregulares) utilizar el método de paredes de canales, ensamblando frecuentemente faldones regulares a las perforadoras para tener conos tipo 1. Del análisis granulométrico un pequeño aporte para la mina Justa e interesados, es que si muestreamos más granos finos que gruesos o viceversa, se pueden sobreestimar o subestimar respectivamente las leyes, debiendo utilizar un método que logre la equiprobabilidad durante el muestreo.
- Del aseguramiento y control de la calidad y el control de envío de mineral mi aporte puede incrementar la producción de cobre en la mina Justa y otras minas, si se aplica una técnica aleatoria estratificada para la inserción de muestras de control, en base a la cantidad de muestras y al contenido de mineral. Así mismo, al tener las muestras sustentadas como representativas, facilito este análisis para disminuir la dilución del mineral, mediante un procedimiento de control de envío de mineral detallado.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda al área de Geología de mina de la mina Justa, realizar análisis entre los métodos del auger de volumen medio y paredes de canales, buscando variantes, con un muestreo mucho más operativo, sin necesidad de homogeneizar y cuartear, conciliar las leyes con las plantas de procesamiento de mineral, cuando empiecen a operar y así validar este análisis y capacitar constantemente a todo el personal involucrado al proceso de producción de mineral.
- Se recomienda al área de Geología de mina de la mina Justa, para el procedimiento del aseguramiento y control de la calidad, ajustar aún más sus métodos y frecuencias de inserción de muestras de control, buscando reducir el tiempo de entrega de las muestras al laboratorio químico, e implementar el muestreo durante el turno de noche, considerando que los procesos de perforación, preparación de muestras y análisis si realizan durante las 24 horas, teniendo siempre una desventaja.

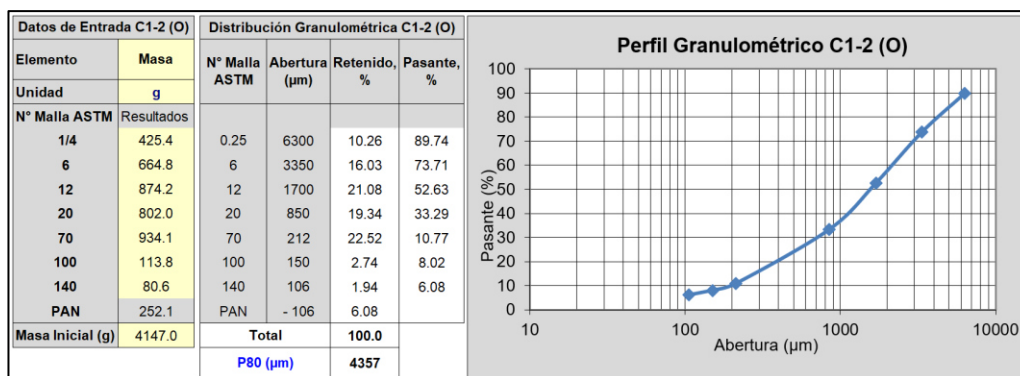
## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFARO, M. (2002) – Introducción al Muestreo Minero, [https://www.academia.edu/7802013/Introducci%C3%B3n\\_al\\_Muestreo\\_Minero](https://www.academia.edu/7802013/Introducci%C3%B3n_al_Muestreo_Minero)
- ANTAPACCAY (2016) – Inserción de Muestras de Control para el Programa de Aseguramiento y Control de la Calidad (QAQC), Informe Interno, 11 p.
- ARMANDO, S. (2010) – Taller de Aseguramiento y Control de la Calidad en la Exploración Geológica, Cajamarca, Perú.
- BONGARCON, F. (2018) – Lo Último en Teoría del Muestreo Cuantitativo: Factores de Liberación, Forma y Granulométricos - Primer Congreso Internacional de Muestreo de Minerales Lima 2018, 10 p.
- CALDAS, J. (1987) - Geología de los cuadrángulos de San Juan, Acarí y Yauca. *INGEMMET, Boletín N.º 30*, 85 p.
- CANCHAYA, S. (2018) - QA/QC ¿Realidad o Fantasía? Siete Años Después - Primer Congreso Internacional de Muestreo de Minerales Lima, 18 p.
- CHEN, H. (2008) - Implicaciones para la Génesis y Definición del Yacimiento tipo IOCG de Mina Justa en el Distrito de Marcona al Sur Central del Perú. Queen`s University, Kingston, Ontario, Canadá, 280 p.
- CHIRIF, H. (2018) – Curso Compacto de Preparación de Tesis y Estudios Técnicos – Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 76 p.
- DAVID, M. y TOH, C. (1989) – Problemas de Dilución y Geoestadística en el Control de Mineral – Escuela Politécnica de Montreal y Melbourne, 8 p.
- DOMINGUEZ, O. (2018) - Gestión de la Calidad (QM) - Primer Congreso Internacional de Muestreo de Minerales Lima 2018, artículo 31, 15 p.
- ENGSTROM, K y ESBENSEN, K (2018) – Práctica del Muestreo de Control de Ley Óptima en la Minería a Cielo Abierto - Primer Congreso Internacional de Muestreo de Minerales Lima, 28 p.
- ESBENSEN, K (2018) - El Poder Universal de Teoría de Muestreo en la Práctica - Primer Congreso Internacional de Muestreo de Minerales Lima, 118 p.
- GALLARDAY, T. y MAYORGA, J. (2017) - Geotopografía Básica – Editorial FFECAAT, Lima, p. 259-294.

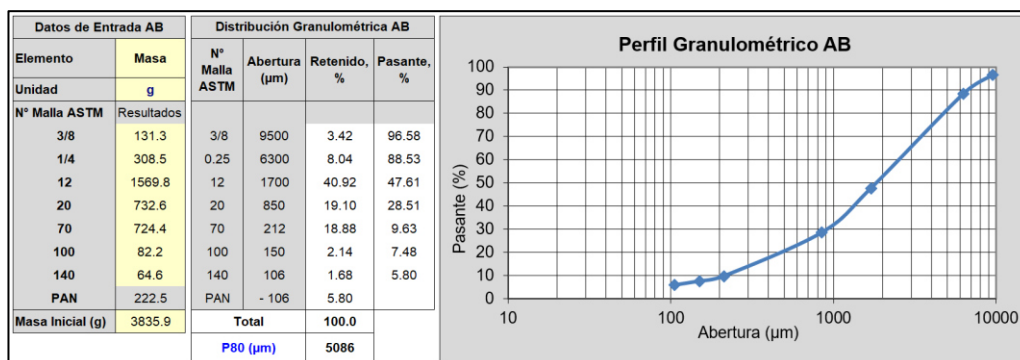
- GUTIERREZ, Y. (2016) - Metodología de Control de Calidad de Mineral en la Producción de Oro, Aplicado en Minería a Tajo Abierto – “Yacimiento Jessica” Compañía Minera Aruntani – Puno – Perú. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. 136 p.
- HERNÁNDEZ, R. FERNANDEZ, C. y BAPTISTA, M. (2010) - Metodología de la Investigación. Quinta Edición. Editorial McGraw-Hill – México, 656 p.
- INGEOMINAS (2003) – Glosario Técnico Minero, Ministerio de Minas y Energía, República de Colombia, Bogotá, 168 p.
- KNUDSEN, H. (1992) - Muestreo de Pozos de Voladura – Una Fuente de Sesgo. Informe Técnico de Ingeniería de Mina, vol. 44, N° 3, 4 p.
- MARCOBRE – Procedimiento de Muestreo de Taladros de Producción, Mina Justa, Informe Interno de Geología Mina, 2018.
- MARCOBRE – Procedimiento de Ore Control, Mina Justa, Informe Interno de Geología Mina, 2017.
- MARCOBRE – Proyecto Mina Justa [http://www.marcobre.com/wp-content/uploads/2017/02/Marcobre\\_2016\\_Geologia.pdf](http://www.marcobre.com/wp-content/uploads/2017/02/Marcobre_2016_Geologia.pdf).
- PITARD, F. (2008) - Muestreo de Taladros de Voladura para el Control de Mineral - Múltiples Problemas y Soluciones. Conferencia de Muestreo Washington, 21 p.
- PITARD, F. (2018) – Una Guía de Sistemas de Muestreo y Protocolos de Muestreo para Minimizar Problemas de Reconciliación - Primer Congreso Internacional de Muestreo de Minerales Lima, 35 p.
- POPE, A. (2003) - Controles Estructurales para la Mineralización de Cobre, en el Prospecto de Mina Justa, Distrito de Marcona. Informe Interno, Lima, 16 p.
- SOUTHERN COOPER – Glosario de Términos Mineros, <http://www.southernperu.com/ESP/opinte/Pages/PGGlosario.aspx#u>.
- TREMOLADA, J. (2011) – Caracterización, Influencia y Tratamiento de Arcillas en Procesos de Cianuración en Pilas. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo, Oviedo. 233 p.

# **ANEXO 1:**

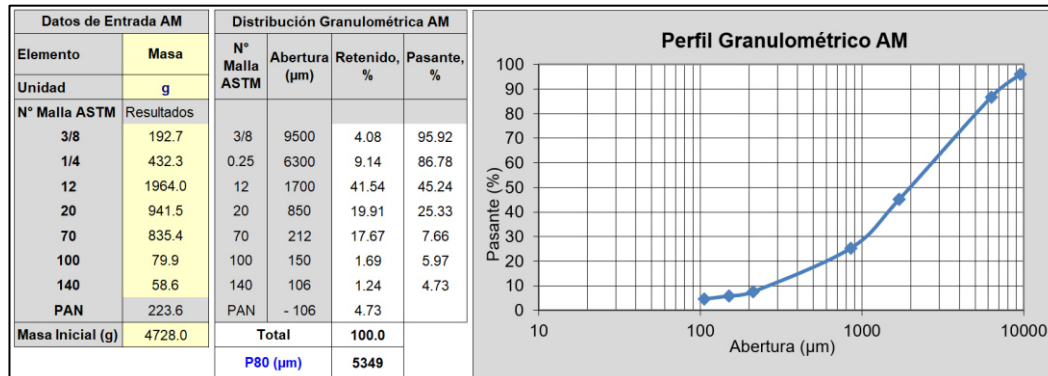
## **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS**



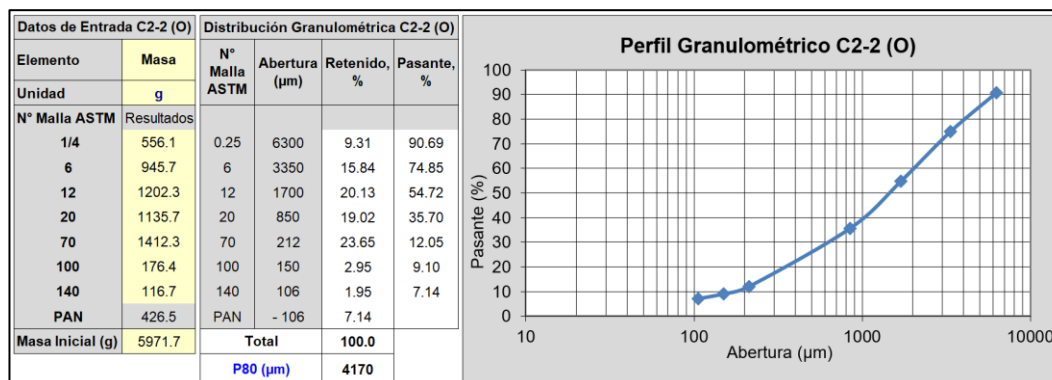
**Fig. A1.2.** Análisis granulométrico para la muestra estándar C1-2 (O), cono 1. **Fuente:** Laboratorio Químico SGS – Mina Justa (2019)



**Fig. A1.4.** Análisis granulométrico para la muestra recolectada con el método del auger de volumen bajo (AB), cono 1. **Fuente:** Laboratorio Químico SGS – Mina Justa (2019)

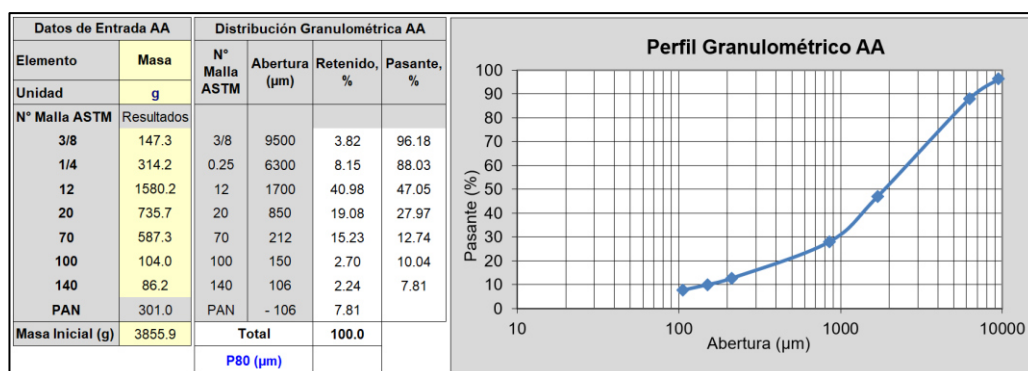


**Fig. A1.5.** Análisis granulométrico para la muestra recolectada con el método del auger de volumen medio (AM), cono 1. **Fuente:** Laboratorio Químico SGS – Mina Justa (2019)

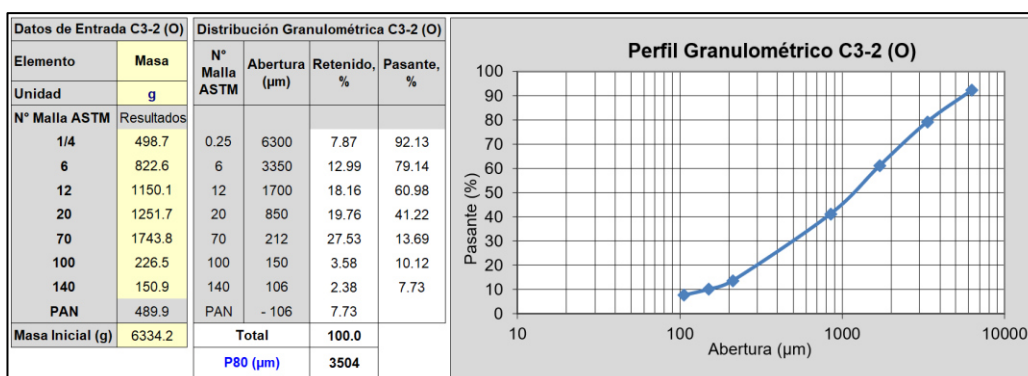


**Fig. A1.7.** Análisis granulométrico para la muestra estándar C2-2 (O), cono 2. **Fuente:** Laboratorio Químico SGS – Mina Justa (2019)

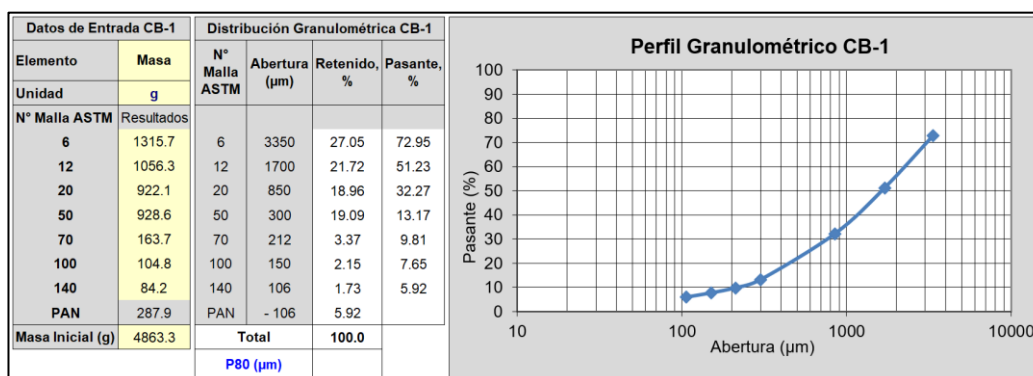




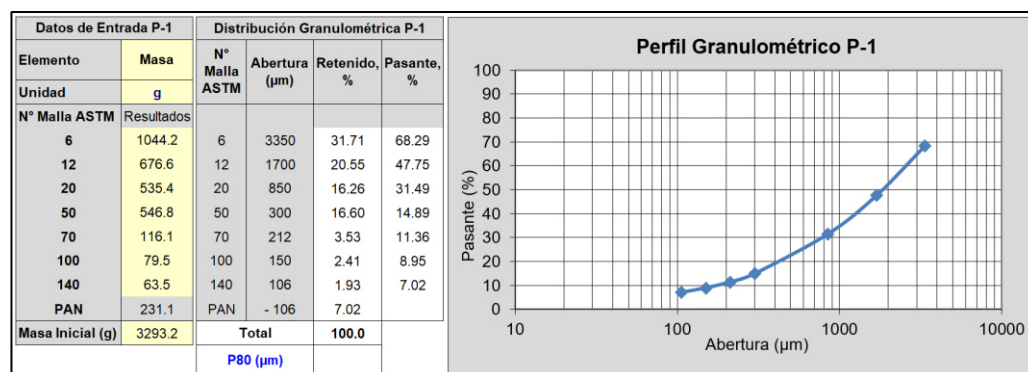
**Fig. A1.9.** Análisis granulométrico para la muestra recolectada con el método del auger de volumen alto (AA), cono 2. **Fuente:** Laboratorio Químico SGS – Mina Justa (2019)



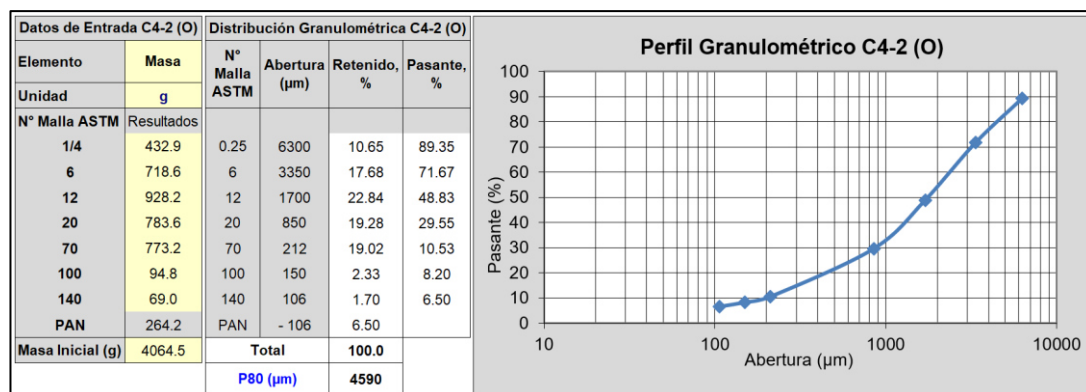
**Fig. A1.11.** Análisis granulométrico para la muestra estándar C3-2 (O), cono 3. **Fuente:** Laboratorio Químico SGS – Mina Justa (2019)



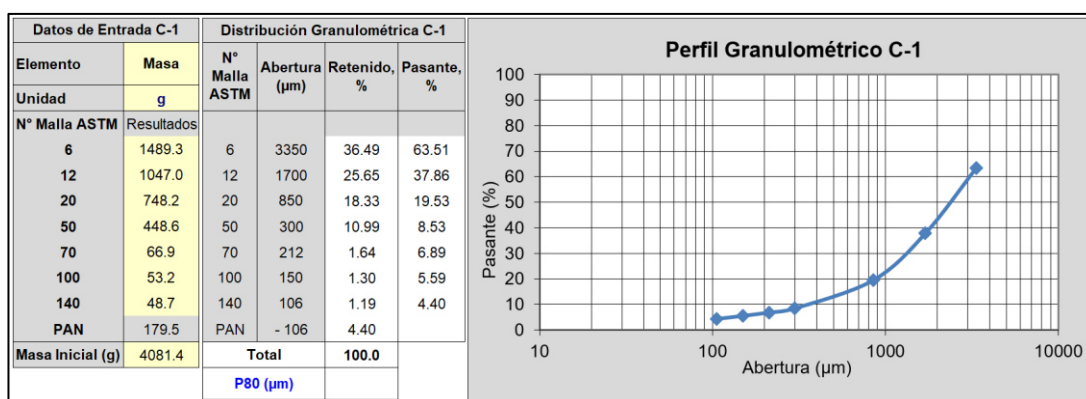
**Fig. A1.13.** Análisis granulométrico para la muestra recolectada con el método canales volumen bajo (CB-1), cono 3. **Fuente:** Laboratorio Químico SGS – Mina Justa (2019)



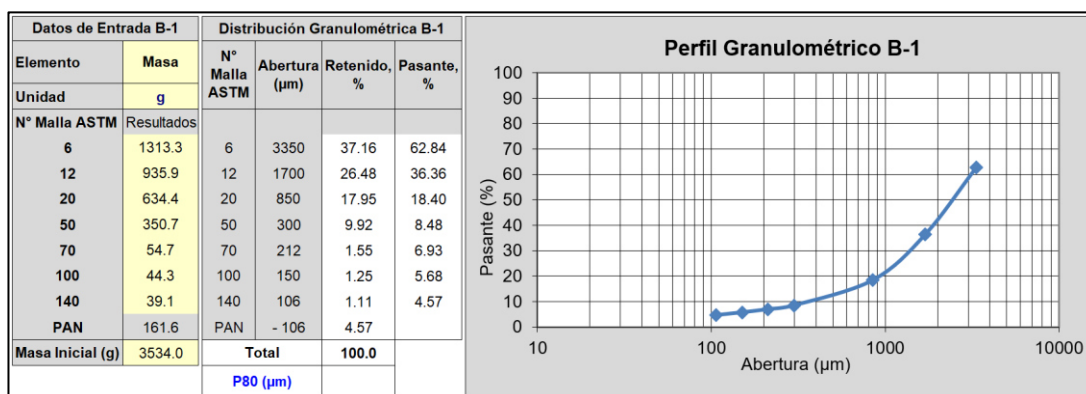
**Fig. A1.16.** Análisis granulométrico para la muestra recolectada con el método de paredes canales (P-1), cono 3. **Fuente:** Laboratorio Químico SGS – Mina Justa (2019)



**Fig. A1.18.** Análisis granulométrico para la muestra estándar C4-2 (O), cono 4. **Fuente:** Laboratorio Químico SGS – Mina Justa (2019)



**Fig. A1.20.** Análisis granulométrico para la muestra recolectada con el método de canales volumen alto, muestra C-1, cono 4. **Fuente:** Laboratorio Químico SGS – Mina Justa (2019)



**Fig. A1.23.** Análisis granulométrico para la muestra recolectada con el método de la bandeja, muestra B-1, cono 4. **Fuente:** Laboratorio Químico SGS – Mina Justa (2019)

## **ANEXO 2:**

# **ANÁLISIS QUÍMICOS**

Sample Ident	Cu_AS %	Peso de muestra (g)	Cu_AS% (RE-ANÁLISIS)	Sample Ident	Cu_AS %	Peso de muestra (g)	Sample Ident	Cu_AS %	Peso de muestra (g)	Sample Ident	Cu_AS %	Peso de muestra (g)
1105100001	0.551	1253	0.563	1105100046	0.968	2550	1105100091	1.048	80	1105100136	0.047	1060
1105100002	0.343	2278	0.353	1105100047	0.141	1040	1105100092	1.414	260	1105100137	0.745	1060
1105100003	0.572	2081	0.595	1105100048	1.583	180	1105100093	0.573	1220	1105100138	0.5	2550
1105100004	1.053	133	1.04	1105100049	1.774	120	1105100094	0.379	2720	1105100139	0.062	1030
1105100005	1.219	84	1.219	1105100050	0.137	1310	1105100095	0.717	1830	1105100140	0.961	1280
1105100006	1.304	150	1.312	1105100051	2.3	430	1105100096	<0.01	60	1105100141	1.374	60
1105100007	<0.01	60	<0.01	1105100052	0.846	1420	1105100097	<0.01	2000	1105100142	1.65	50
1105100008	<0.01	2055	<0.01	1105100053	0.473	2570	1105100098	0.905	100	1105100143	2.176	180
1105100009	0.562	1103	0.556	1105100054	0.947	2290	1105100099	0.807	60	1105100144	1.363	60
1105100010	0.317	1976	0.324	1105100055	1.595	150	1105100100	1.353	420	1105100145	0.551	2800
1105100011	0.573	1751	0.565	1105100056	1.793	110	1105100101	0.655	1230	1105100146	0.999	1350
1105100012	0.128	1130	0.13	1105100057	2.275	380	1105100102	0.387	2570	1105100147	0.767	1120
1105100013	1.008	105	1.011	1105100058	0.737	980	1105100103	0.708	1610	1105100148	0.767	
1105100014	1.117	85	1.123	1105100059	0.736		1105100104	0.076	1250	1105100149	1.579	50
1105100015	1.301	145	1.314	1105100060	0.428	2050	1105100105	0.074	1140	1105100150	2.16	190
1105100016	1.314	1167	0.127	1105100061	0.812	1320	1105100106	0.906	95	1105100151	0.741	1080
1105100017	1.307	151	1.313	1105100062	1.212	100	1105100107	1.051	78	1105100152	0.506	2620
1105100018	0.341	2008	0.356	1105100063	1.223	90	1105100108	1.358	360	1105100153	0.967	1320
1105100019	0.652	1764	0.644	1105100064	1.589	300	1105100109	0.679	1080	1105100154	1.299	60
1105100020	1.037	117	1.028	1105100065	0.616	1190	1105100110	0.405	1710	1105100155	1.62	60
1105100021	1.108	85	1.117	1105100066	0.413	2380	1105100111	0.569	700	1105100156	2.14	170
1105100022	0.535	906	0.533	1105100067	0.711	1720	1105100112	0.566		1105100157	<0.01	60
1105100023	0.532		0.528	1105100068	<0.01	60	1105100113	0.937	72	1105100158	<0.01	2010
1105100024	0.699	1016	0.714	1105100069	<0.01	1950	1105100114	1.119	53	1105100159	0.741	920
1105100025	0.39	2015	0.398	1105100070	1.069	120	1105100115	1.343	210	1105100160	0.51	2250
1105100026	0.783	1433	0.779	1105100071	1.204	100	1105100116	0.779	1110	1105100161	0.91	1050
1105100027	1.196	83	1.218	1105100072	1.415	300	1105100117	0.388	2430	1105100162	1.338	50
1105100028	1.264	68	1.251	1105100073	1.005	150	1105100118	0.812	1400	1105100163	1.62	40
1105100029	1.648	141	1.631	1105100074	0.388	2470	1105100119	1.418	91	1105100164	2.204	170
1105100030	0.575	1224	0.583	1105100075	0.686	3010	1105100120	1.235	60	1105100165	0.516	2690
1105100031	1.235	60	1.228	1105100076	0.981	220	1105100121	1.497	40	1105100166	0.709	1040
1105100032	0.369	2593	0.381	1105100077	0.66	1610	1105100122	1.89	120	1105100167	0.704	
1105100033	0.744	1755	0.757	1105100078	0.67		1105100123	1.873	260	1105100168	0.915	1120
1105100034	1.091	82	1.081	1105100079	1.336	490	1105100124	0.382	2080	1105100169	1.335	50
1105100035	1.24	61	1.225	1105100080	0.583	1540	1105100125	0.819	1550	1105100170	1.594	50
1105100036	1.429	141	1.422	1105100081	0.378	2290	1105100126	1.44	90	1105100171	2.157	180
1105100037	0.934	2456	0.926	1105100082	0.609	2770	1105100127	1.605	30	1105100172	0.716	1010
1105100038	0.487	2151	0.485	1105100083	0.946	220	1105100128	0.763	1030	1105100173	0.496	2660
1105100039	0.831	1250	0.824	1105100084	1.098	150	1105100129	0.766		1105100174	0.878	1090
1105100040	0.826		0.819	1105100085	1.389	480	1105100130	0.747	910	1105100175	1.22	60
1105100041	1.555	164	1.544	1105100086	1.231	60	1105100131	0.469	2130	1105100176	1.31	50
1105100042	1.696	112	1.683	1105100087	0.559	1280	1105100132	0.884	1590	1105100177	1.627	50
1105100043	2.06	165	2.043	1105100088	0.383	2390	1105100133	1.357	80	1105100178	2.129	170
1105100044	0.88	1597	0.873	1105100089	0.613	2020	1105100134	1.547	170			
1105100045	0.519	2706	0.514	1105100090	0.919	110	1105100135	1.953	310			

**Tabla. A2.1.** Reporte del análisis químico de las muestras enviadas al laboratorio.

**Fuente:** Laboratorio Químico SGS – Mina Justa (2019)

## **ANEXO 3:**

# **FOTOGRAFÍAS**





**Fotografía. A3.1.** Demuestro cuál es la forma correcta de recolectar la muestra con el auger. **Fuente:** Del Autor (2019)



**Fotografía. A3.2.** Cono 1, donde se evaluaron los métodos del auger de volumen bajo y medio. **Fuente:** Del Autor (2019)





**Fotografía. A3.3.** Toma de muestra de detritos utilizando el método de paredes de canales. **Fuente:** Del Autor (2019)





**Fotografía. A3.4.** Cono 4, donde se evaluaron los métodos de canales de volumen bajo y de la bandeja. **Fuente:** Del Autor (2019)

**ANEXO 4:**

**MAPA, VISTA, PLANO, SECCIÓN Y  
PRODUCCIÓN DE COBRE**



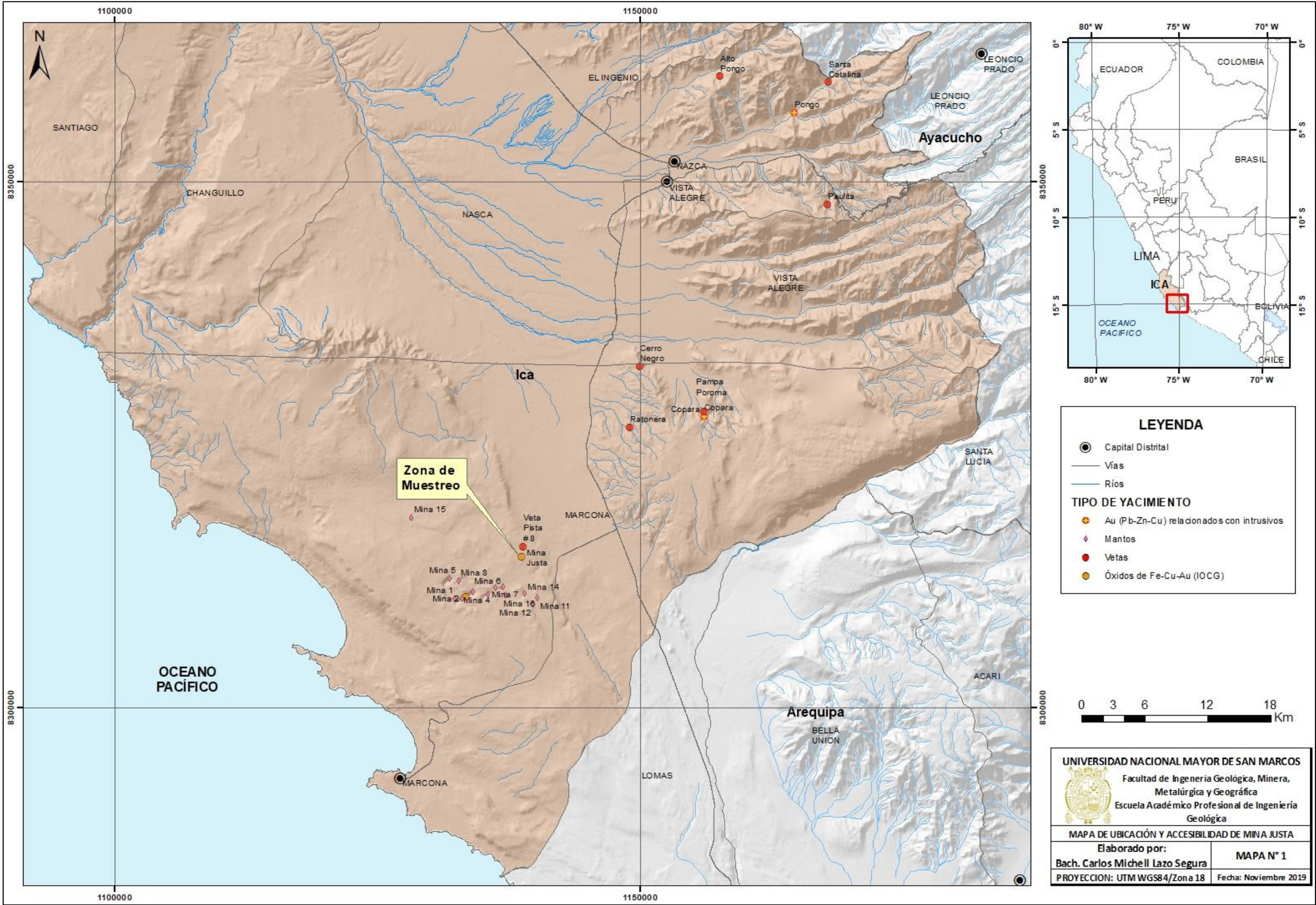
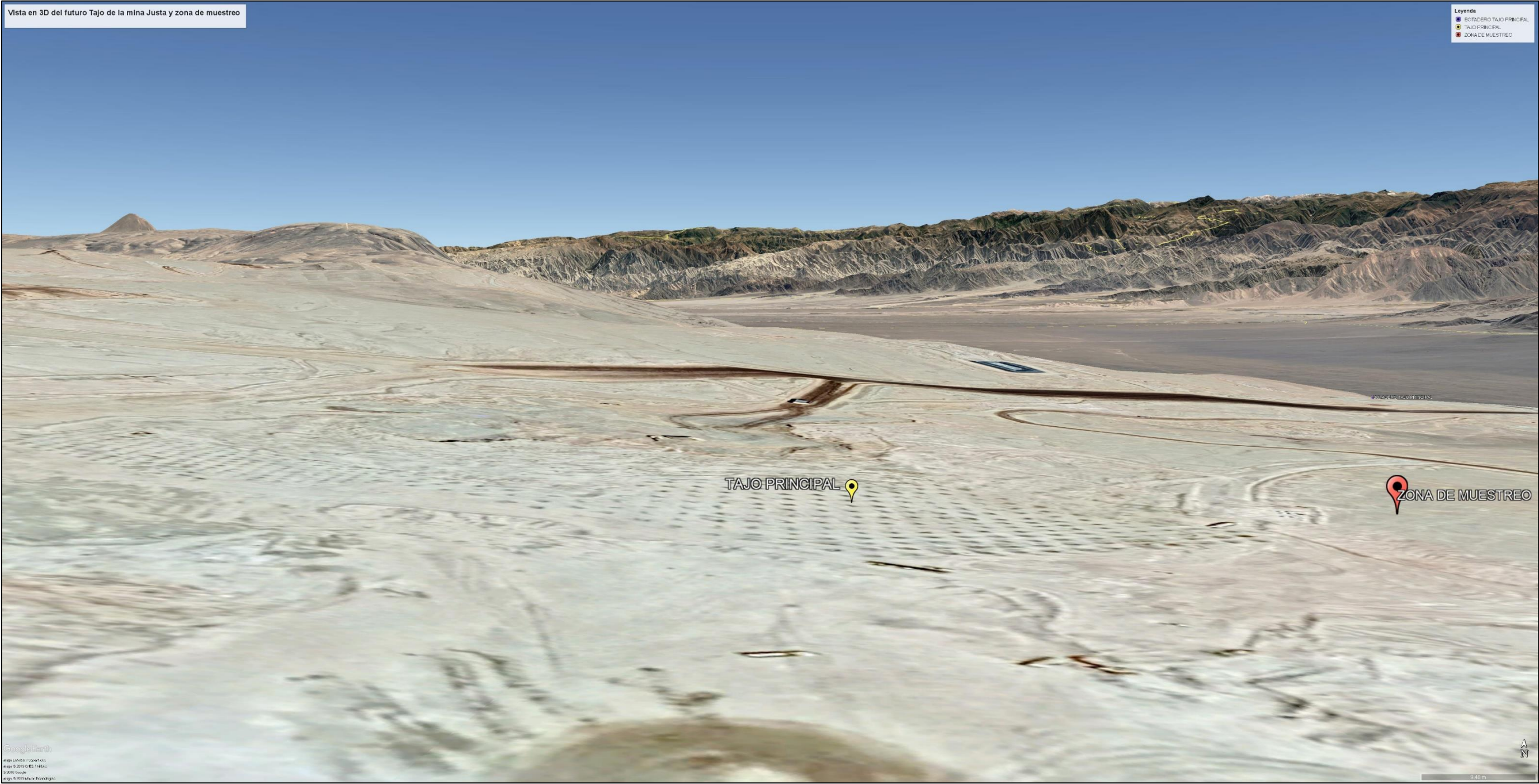


Fig. A4.1. Mapa de ubicación, accesibilidad de la mina Justa y zona de muestreo. Fuente: Del Autor (2019)





**Fig. A4.2.** Vista en 3D de la mina Justa y zona de muestreo para el análisis. **Fuente:** Google Earth (fecha de consulta: 17 Noviembre del 2019)



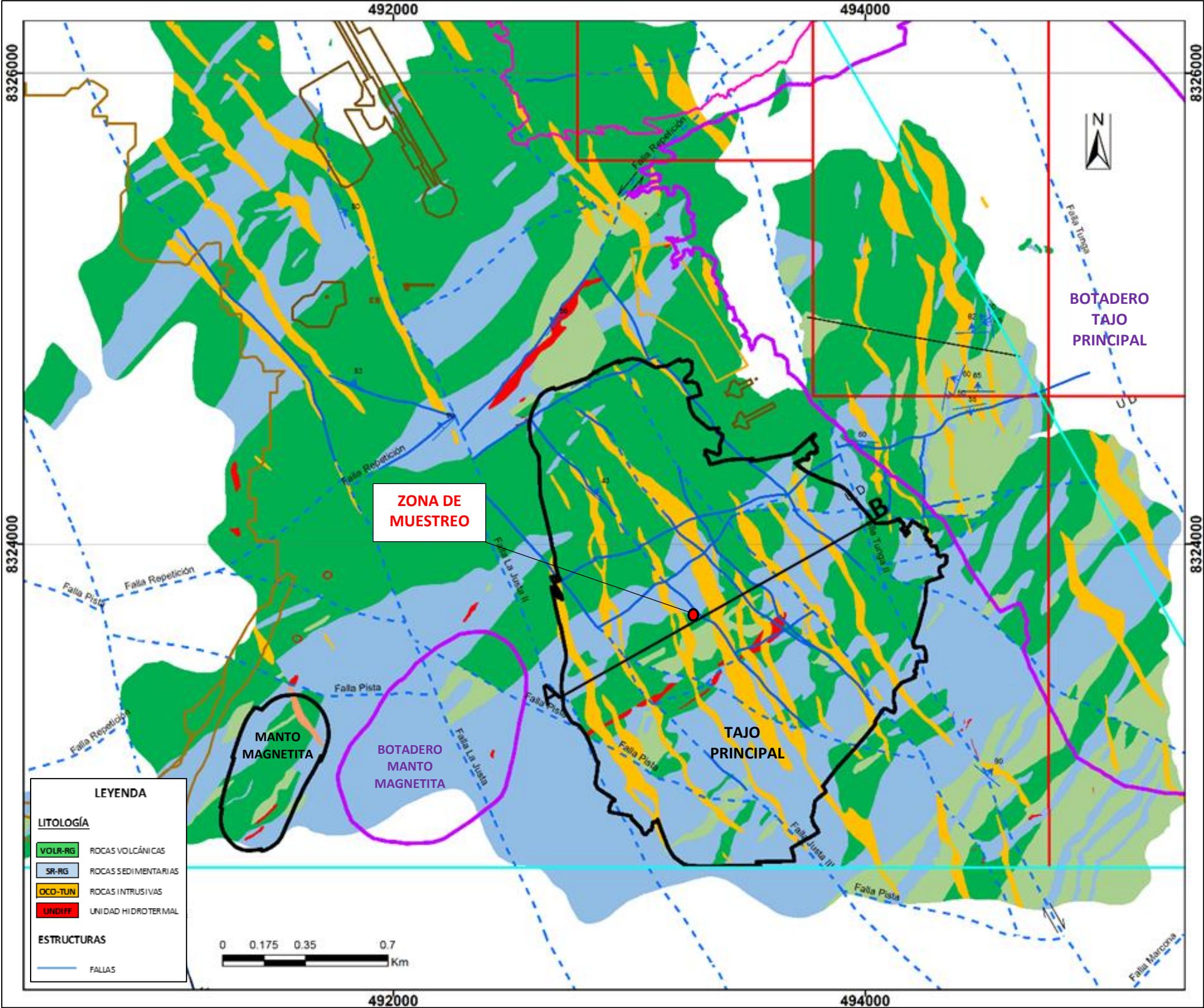


Fig. A4.3. Geología local de la mina Justa y zona de muestreo para el análisis. Fuente: Área de Control de Mineral de Mina Justa (2019)



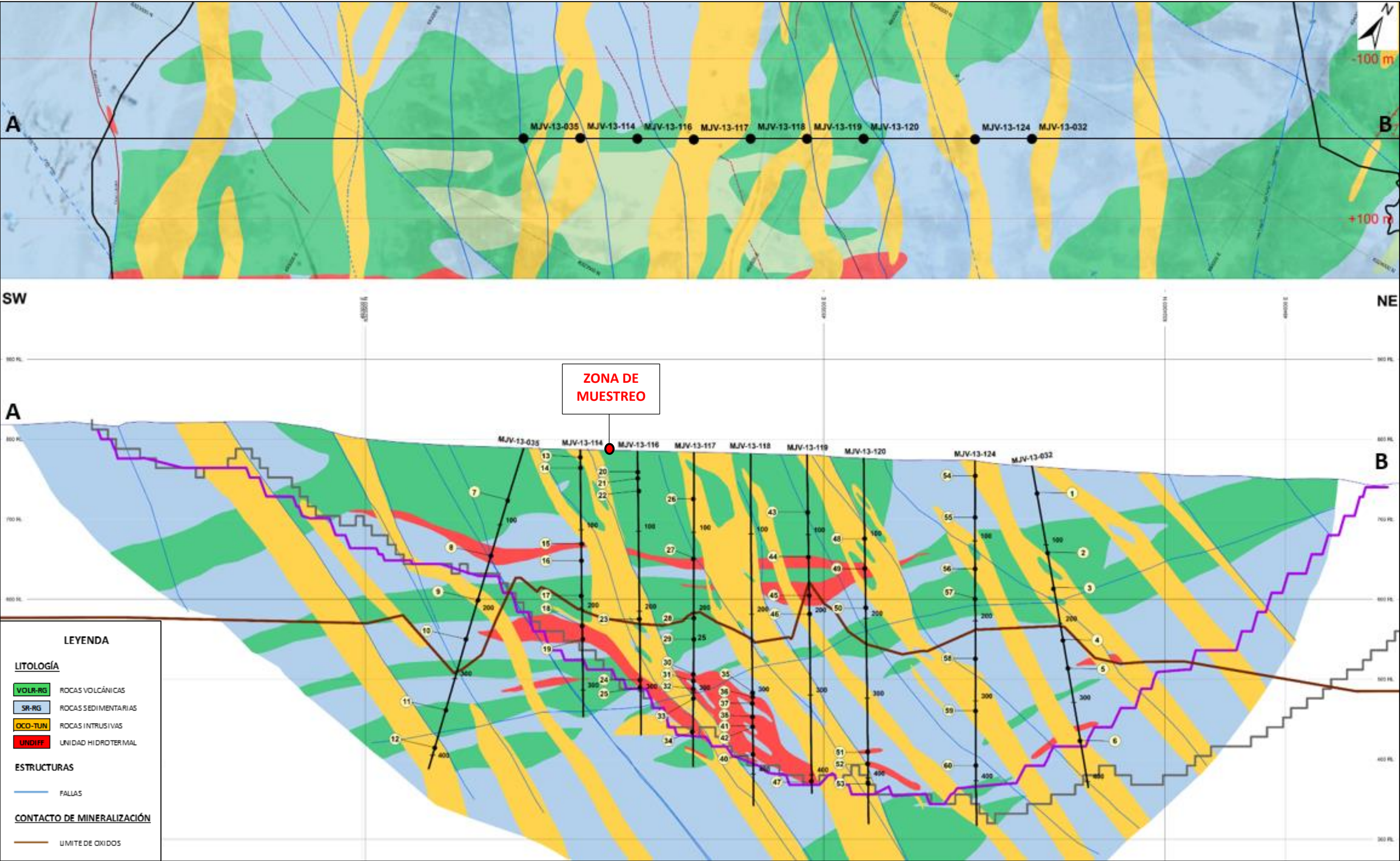
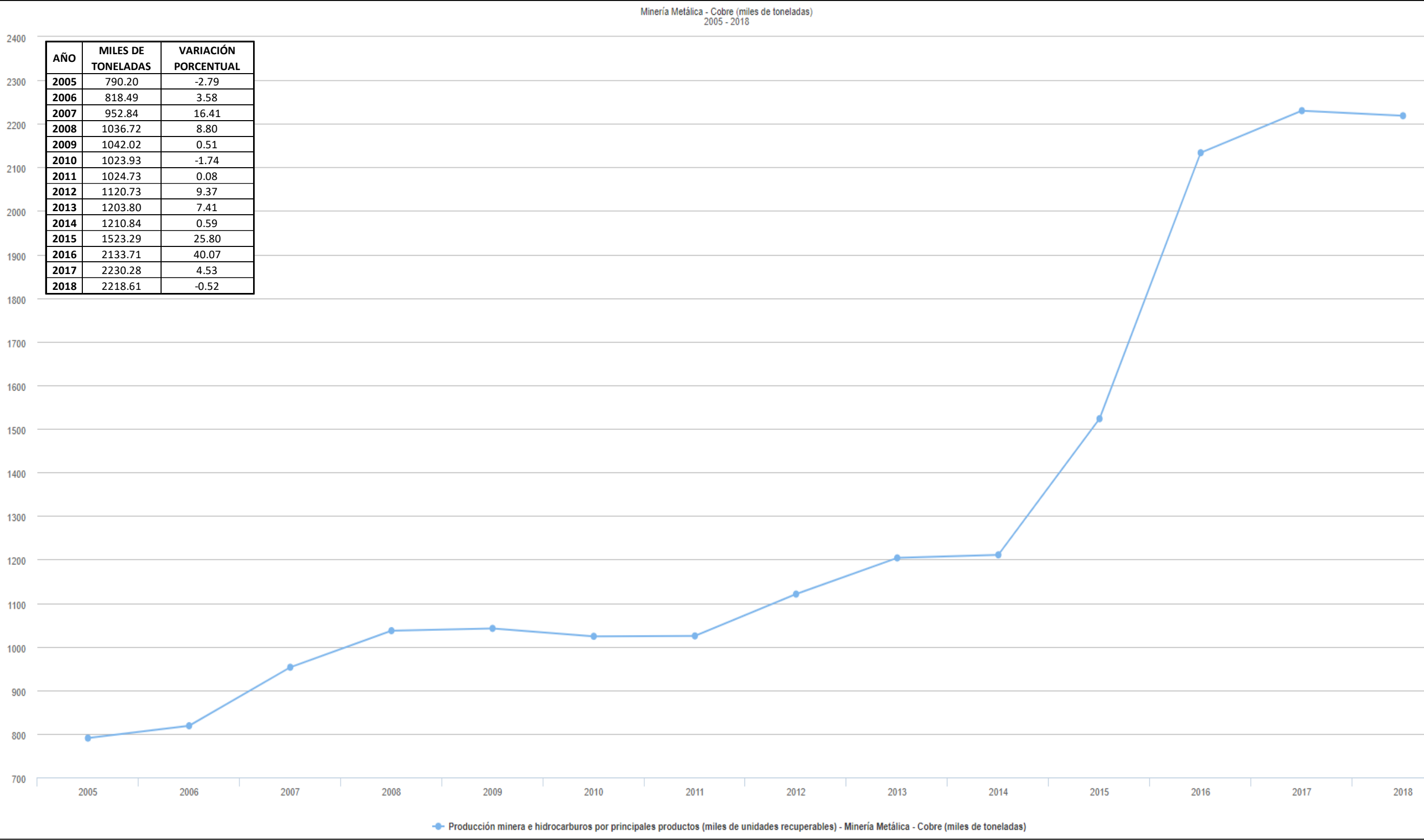


Fig. A4.4. Sección transversal de la geología local de la mina Justa y zona de muestreo para el análisis. Fuente: Área de Control de Mineral de Mina Justa (2019)



**Fig. A4.5.** Producción de Cobre en el Perú (2005-2018). **Fuente:** Banco Central de Reserva del Perú (2019)